

JAERI-Data/Code
98-004



断面積セット作成プログラムMAIL3.1

1998年2月

須山賢也・小室雄一・高田友幸*
川崎弘光*・大内圭介*

29 - 29

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319 1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター 〒319 1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai mura, Naka gun, Ibaraki ken 319 1195, Japan

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1998

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ㈱原子力資料サービス

断面積セット作成プログラム MAIL3.1

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部

須山 賢也・小室 雄一⁺・高田 友幸^{*}

川崎 弘光^{*}・大内 圭介^{*}

(1998年1月12日受理)

本書はSIMCRI、ANISN-JR、KENO IV、KENO V、MULTI-KENO、MULTI-KENO-2
そしてMULTI-KENO-3.0のような、輸送計算プログラム用の断面積セットを作成するプロ
グラム MAIL3.1 の使用手引書である。MAIL3.1 は、1990年に公開された MAIL3.0 の改良
版である。MAIL3.1 は、MAIL3.0 の機能をすべて継承し、以下に示す2つの新しい機能を
持つ。1. AMPX 形式の断面積セットの作成 2. Hansen-Roach 16群断面積セット利用者
のための強化された機能

**MAIL3.1 : A Computer Program Generating Cross Section Sets
for SIMCRI, ANISN-JR, KENO IV, KENO V, MULTI-KENO,
MULTI-KENO-2 and MULTI-KENO-3.0**

**Kenya SUYAMA, Yuichi KOMURO⁺, Tomoyuki TAKADA*,
Hiromitsu KAWASAKI* and Keisuke OUCHI***

**Department of Fuel Cycle Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken**

(Received, January 12, 1998)

This report is a user's manual of the computer program MAIL3.1 which generates various types of cross section sets for neutron transport programs such as SIMCRI, ANISN-JR, KENO IV, KENO V, MULTI-KENO, MULTI-KENO-2 and MULTI-KENO-3.0. MAIL3.1 is a revised version of MAIL3.0 that was opened in 1990. It has all of abilities of MAIL3.0 and has two more functions as shown in following. 1. AMPX-type cross section set generating function for KENO V 2. Enhanced function for user of 16 group Hansen-Roach library

**Keywords: Cross Section Set, Multigroup Constants Library, MGCL, JACS,
Criticality Safety**

⁺ Research Reactor Technology Development, Department of Research Reactor
^{*} CRC Research Institute INC.

目 次

1. 序	1
2. MAIL3.1 の特徴	1
2.1 MAIL ファミリー	1
2.2 MAIL3.0 の特徴	3
2.3 MAIL3.1 の特徴	7
3. MAIL3.1 入力ガイド	9
3.1 基本データ	9
3.2 原子個数密度計算ルーチンの利用方法	21
3.2.1 均質 PuO ₂ 粉末-H ₂ O の含水率と H/Pu 原子個数比の関係	28
3.3 汎用材料の原子個数密度の利用方法	37
3.3.1 MAIL3.1 に用意されている構造材、減速材、中性子毒物等の 原子個数密度	39
4. MAIL3.1 の実行にあたっての諸注意事項	63
4.1 Shell Script とファイルの論理機番	64
4.2 入力データ例	67
4.3 出力例	72
5. MGCL の作成方法	86
5.1 MGCL の位置付け	86
5.2 1次元データの算出法	88
5.2.1 無限希釈断面積	88
5.2.2 共鳴自己遮蔽因子	91
5.2.3 狭い共鳴近似の補正	92
5.3 2次元データの算出法	92
6. MGCL の構造	94
6.1 MGCL ライブラリーの群構造	94
6.2 MGCL ライブラリーの記録形式	94
7. 断面積セット作成方法	111
7.1 実効微視的断面積の計算	111
7.2 実効巨視的断面積の計算	113
7.3 巨視的散乱データの計算	114
7.4 f-table の温度内挿法	115
8. 作成される断面積セットの記録形式	116
9. MGCL-B-IV ライブラリーおよび MGCL-J3 ライブラリーに含まれる 核種及びその識別子	124

10. MGCL-J3.2 ライブラリーに含まれる核種とその識別子	146
11. Hansen-Roach 断面積セットの核種識別子の選択方法	160
11.1 Hansen-Roach 16群断面積セットに含まれる核種とその識別子	162
12. MULTI-KENO, MULTI-KENO-2, MULTI-KENO-3.0の違いについて	168
謝 辞	169
参考文献	170

Contents

1. Introduction	1
2. Features of MAIL3.1	1
2.1 MAIL Family	1
2.2 Features of MAIL3.0	3
2.3 Features of MAIL3.1	7
3. MAIL3.1 Input Data Guide	9
3.1 Basic Data	9
3.2 How to Use of Standard Atomic Number Density Routine	21
3.2.1 Relationship between H/Pu Atomic Number Ratio and the Percentage of Water Content of Homogeneous PuO ₂ Powder-H ₂ O	28
3.3 How to Use of Standard Atomic Number Densities of General Materials	37
3.3.1 Standard Atomic Number Densities of Structures, Moderators, Poisons... etc Prepared in MAIL3.1	39
4. Special Notice When Running MAIL3.1	63
4.1 Shell Script and File Unit Numbers	64
4.2 Sample of Input Data	67
4.3 Sample of Output	72
5. How to Make MGCL	86
5.1 Positioning of MGCL	86
5.2 How to Calculate One-dimensional Data	88
5.2.1 Infinite-diluted Cross Section	88
5.2.2 Resonance Self-shielding Factor	91
5.2.3 Correction of Narrow Resonance Approximation	92
5.3 How to Calculate Two-dimensional Data	92
6. Structure of MGCL	94
6.1 Energy Group Structure of MGCL Library	94
6.2 Record Format of MGCL Library	94
7. How to Make Cross Section Sets	111
7.1 Calculation of Effective Micro Cross Section	111
7.2 Calculation of Effective Macro Cross Section	113
7.3 Calculation of Macro Scattering Data	114
7.4 Method of Interpolation of f-table by Temperature	115
8. Format of Cross Section Sets	116

9. Elements included in MGCL-B-IV and MGCL-J3 Library and their ID	124
10. Elements included in MGCL-J3.2 Library and their ID	146
11. How to Select ID of Hansen-Roach Cross Section Set.....	160
11.1 Elements included in Hansen-Roach 16 Grouped Cross Section Set and their ID	162
12. About Difference between MULTI-KENO, MULTI-KENO-2, and MULTI-KENO-3.0	168
Acknowledgment	169
References	170

図一覧

3.1 液体 UF_6 の温度と密度の関係	25
5.1 標準スペクトル	89

表一覧

2.1	MAIL3.1 の概要	2
2.2	MAIL3.1 が計算出来るダンコフ補正係数 C	5
2.3	MAIL3.1 が原子個数密度を計算できる物質の一覧	6
3.1	巨視的全断面積の標準値	18
3.2	MAIL3.1 が原子個数密度を計算できる物質の一覧	22
3.3	含水率	30
3.4	MAIL3.1 が内蔵する汎用物質の識別子	38
3.5	空気の原子個数密度	40
3.6	アルミニウムの原子個数密度	41
3.7	鉛の原子個数密度	42
3.8	カドミウムの原子個数密度	43
3.9	ハフニウム (天然) の原子個数密度	44
3.10	SUS-304 ステンレス鋼の原子個数密度	45
3.11	SUS-316 ステンレス鋼の原子個数密度	46
3.12	炭素鋼の原子個数密度	47
3.13	ジルカロイ -2 の原子個数密度	48
3.14	ジルカロイ -4 の原子個数密度	49
3.15	プレキシグラスの原子個数密度	50
3.16	ポリエチレンの原子個数密度	51
3.17	アスファルトの原子個数密度	52
3.18	普通コンクリートの原子個数密度	53
3.19	12.9 % 硼素入りラッシヒリングの原子個数密度	54
3.20	10 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度	55
3.21	20 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度	56
3.22	30 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度	57
3.23	0.26 % 硼素入りコンクリートの原子個数密度	58
3.24	2.6 % 硼素入りコンクリートの原子個数密度	59

3.25	1.0 % 硼素入りステンレス鋼の原子個数密度	60
3.26	ボラルの原子個数密度	61
3.27	炭化硼素の原子個数密度	62
4.1	MAIL3.1 主プログラム	63
4.2	MAIL を実行する Shell Script	65
4.3	MAIL3.1 が使用するファイルの理論機番と機能	66
4.4	入力サンプル -1	67
4.5	入力サンプル -2	68
4.6	入力サンプル -3	69
4.7	入力サンプル -4	70
4.8	入力サンプル -5	71
4.9	入力サンプル -6	72
5.1	MGCL ライブラリの構成	87
6.1	MGCL のエネルギー群構造 -1	95
6.2	MGCL のエネルギー群構造 -2	96
6.3	MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)	97
6.4	MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)	98
6.5	MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)	99
6.6	MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)	100
6.7	MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)	101
6.8	MGCL-B-IV のレコード形式 (二次元データ)	102
6.9	MGCL-B-IV のレコード形式 (二次元データ)(続き)	103
6.10	MGCL-J3 のレコード形式 (一次元データ) MGCL-B-IV と異なる部分のみ	104
6.11	MGCL-J3 のレコード形式 (一次元データ) MGCL-B-IV と異なる部分のみ (続 き)	105
6.12	MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)	106
6.13	MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)(続き)	107
6.14	MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)(続き)	108
6.15	MGCL-J3 のレコード形式 (h-table)	109

6.16 MGCL-J3 のレコード形式 (h-table) (続き)	110
8.1 ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式-1	117
8.2 ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式-2	118
8.3 ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式-3	119
8.4 KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-1	120
8.5 KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-2(ALM と ALP)	121
8.6 KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-3(ALM と ALP)(続き)	122
8.7 MULTI-KENO-3.0 フォーマット断面積ファイルのレコード形式	123
9.1 MGCL-B-IV に内蔵されている核種-1	125
9.2 MGCL-B-IV に内蔵されている核種-2	126
9.3 MGCL-B-IV に内蔵されている核種-3	127
9.4 MGCL-B-IV に内蔵されている核種-4	128
9.5 MGCL-B-IV に内蔵されている核種-5	129
9.6 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-1	131
9.7 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-2	132
9.8 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-3	133
9.9 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-4	134
9.10 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-5	135
9.11 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-6	136
9.12 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-7	137
9.13 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-1	138
9.14 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-2	139
9.15 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-3	140
9.16 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-4	141
9.17 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-5	142
9.18 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-6	143
9.19 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-7	144
9.20 例外的な ID を持つ同位体	145
10.1 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種-1	147

10.2 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -2	148
10.3 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -3	149
10.4 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -4	150
10.5 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -5	151
10.6 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -6	152
10.7 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -1	153
10.8 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -2	154
10.9 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -3	155
10.10 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -4	156
10.11 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -5	157
10.12 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -6	158
10.13 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -7	159
11.1 Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子 -1	163
11.2 Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子 -2	164
11.3 Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子 -3	165
11.4 Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子 -4	166
11.5 Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子 -5	167

1 序

本書は輸送計算用の断面積セットを作成するプログラム MAIL3.1 の使用手引書である。このプログラムは 1990 年に公開した MAIL3.0[1] の改良版で、MAIL3.0 の機能をすべて継承するとともに、さらに 2 つの新しい機能を持つ。MAIL3.0 は SIMCRI[2], ANISN-JR[3], KENO IV[4], MULTI-KENO[5], MULTI-KENO-2 及び MULTI-KENO-3.0 のための各断面積セットを提供できる (SIMCRI, KENO IV, MULTI-KENO 及び MULTI-KENO-2 の断面積セットは共通)。MAIL3.1 はさらに、KENO V[6] の利用者のために AMPX[7] 形式の断面積セットを作成できる他、Hansen-Roach 断面積セット [8] の核種識別子を選択・印字することができる。

第 2 章では MAIL3.1 の特徴について、これまでの経緯とともに、解説する。第 3 章では入力データの内容を (1) 基本データ、(2) 原子個数密度計算ルーチンの利用方法、(3) 汎用材料の原子個数密度の利用方法の 3 部に分けて説明する。第 4 章以降では、具体的な利用上の注意点、MAIL3.1 が参照する MGCL ライブラリーの作成方法、MAIL3.1 の算法を概説する。また、MAIL3.1 の実行にあたって必要な諸情報等も付す。

2 MAIL3.1 の特徴

MAIL3.1 の概要 (コードアブストラクト) を Table 2.1 に示す。MAIL3.1 はその前身である MAIL3.0 の基本機能をすべて包含しつつさらに新しい機能を付加したプログラムである。本書は MAIL3.1 の使用手引書であるが、これより以前のプログラム (MAIL[9], MAIL3.0) を使用した経験のないユーザーのために MAIL3.0 の特徴も併記する。第 2.1 章では MAIL ファミリーについて簡単に触れる。第 2.2 章では MAIL3.0 の特徴を、第 2.3 章では本章の主題である MAIL3.1 の特徴を記す。

2.1 MAIL ファミリー

MAIL ファミリーの原点 MAIL は JACS コードシステムの第 1 次版 [10] に含まれていた。米国の評価済み核データ ENDF/B-IV に基づく多群定数ライブラリー MGCL-B-IV[11] を処理して、ANISN-JR 及び KENO IV のための断面積セットを作成することができた。MAIL3.0 は MAIL の改良版で 1990 年に公開された。MAIL の機能をすべて継承すると

Table 2.1: MAIL3.1 の概要

名称 MAIL3.1

開発コンピュータ FACOM M-780、Sun SPARC Station

機能 MGCL ライブラリーを処理して次に挙げる記録形式の実効断面積セットを作成する。

KENO IV(P_1)、ANISN (P_1, P_3)、MULTI-KENO-3.0(P_3)、AMPX Working Library (P_1, P_3)

解法 無限希釈断面積 σ_∞ に共鳴自己遮蔽因子 f 及び減速材質量効果補正因子 h を乗じて実効巨視的断面積を計算する。

制限 制限、注意等については、第 4 章で述べる。

計算時間 領域数、取り扱い同位体数にもよるが、典型的例では、現在の EWS によると 60 秒程度。計算を行う時間に比べると I/O 所要時間の方が長い。

計算機に要求されるもの 第 4 章で述べる。

関連コード、ライブラリ KENO IV、SIMCRI、ANISN、MULTI-KENO、MULTI-KENO-3.0、KENO V、KENO V.a、MGCL-B4、MGCL-J3

もに第 2.2 節に掲げる機能が新たに追加された。MAIL3.1 は MAIL3.0 の改良版で、第 2.3 節に述べる特徴を持つ。

2.2 MAIL3.0 の特徴

1. MGCL-J3 を読み込める

MGCL-B-IV に代わる新しいライブラリーとして、我が国の核データ JENDL-3[12] を MGCL-ACE[9] で処理して作成した多群定数ライブラリー MGCL-J3 を読み込むことができる。MGCL-J3 は従来の MGCL-B-IV と次の点で異なる。

- (a) MGCL-B-IV は弾性散乱の角度分布の非等方性に関する情報について、ルジャンドル多項式展開係数の P_1 成分まで収納していたのに対して、MGCL-J3 は P_3 成分まで収納した (P_3 - 散乱マトリクス)。
- (b) MGCL-J3 の記憶領域を節約するために、f-table 内の 1.0 が連続する部分及び散乱マトリクス内の 0.0 が連続する部分を省略した。
- (c) 狭い共鳴近似を補正した実効微視的断面積の計算に必要なデータ (h-table) を導入した。

2. 共鳴自己遮蔽因子表 f-table の温度内挿ができる

MGCL ライブラリーは、限られた温度点に対して用意されているため、計算体系の温度に等しいライブラリーに出会うのは稀で、やむをえず体系温度に近い MGCL を選んで MAIL を実行するのが通例であった。この点を改善するために、文献 [13] に基づく手法で温度の異なる 2 つの MGCL の各 f-table を内挿する機能を付加した。入力データで体系温度とそれを挟む 2 種類の温度の MGCL を指定すれば、指定された温度の実効微視的断面積を得ることができる。但し、散乱マトリクス (以下 SMF と記す) の温度内挿はできないので、これまでと同様に体系温度に最も近い温度の SMF を使用する。

- 3. バックグラウンド断面積 σ_0 が大きい場合の自己遮蔽因子 $f(\sigma_0)$ を精度良く計算できる
 $10^5 \leq \sigma_0 \leq 10^8$ の領域では、これまで $f(\sigma_0)=f(10^8)=1.0$ と仮定していた。核種に

よってはこの仮定が成立しないことが分かったので、精度良く f -table を内挿するために、この区間専用の内挿式を新設した。詳細は第 7.1 節を参照されたい。

4. ダンコフ補正係数計算機能の充実

非均質燃料のバックグラウンド断面積 σ_0 の計算には、非均質効果を取入れるためにダンコフ補正係数 C が必要である (第 7.1 節参照)。そのため、無限配列された無限平板燃料及び正方・六角格子状に無限配列された無限長棒燃料の C を計算するルーチンが MAIL には用意されている。これに加えて MAIL3.0 では、立方格子・六方晶状に無限配列された球燃料の C を計算できる。さらに有限配列の代表的な 3 つの場所と考えられる中央 (無限)、周辺及び隅の C も計算できる。

有限配列燃料の C の計算手法には、モンテカルロプログラム MCDAN[14] をベースに作成したプログラム DANKE[15] を採用した。これを機に、計算手法を一貫させるために、正方・六角格子状に無限配列された無限長棒燃料の C の計算も、従来のいわゆる“深井の式” [16] から DANKE に切替えた。MAIL3.0 がもつ C の計算機能とその手法の一覧を Table 2.2 に示す。

5. 狭い共鳴近似を補正した実効微視的断面積を計算できる (h -table の導入)

MGCL を作成するプログラム MGCL-ACE では、多群断面積の計算に用いる重み中性子スペクトルを、狭い共鳴 (Narrow Resonance) 近似により与えている。MBCL-B-IV にはこのような近似の下に得られた多群断面積が用意されている。MGCL-J3 もまた同様の多群断面積が用意されているが、共鳴吸収効果の大きな核種 (^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{242}Pu 、 ^{56}Fe) の多群断面積だけは、精度の向上をはかるために、減速方程式を解いて得られる重み中性子スペクトルを使って求めた。この際、MGCL ライブラリーのバックグラウンド断面積 σ_0 の値に合わせて減速材核種の弾性散乱断面積を設定した。減速材質量数 A を 1 として多群断面積を算出し、これら核種の自己遮蔽因子表 (f -table) を作成した。さらに、 A が 12 及び 200 の場合も算出し、減速材質量効果の表 (h -table) を作成した [17]。

MAIL3.1 は h -table の読み込みが可能で、上記核種に限って狭い共鳴近似を補正した実効微視的断面積を計算できる。

6. 臨界解析でよく遭遇する核燃料物質の原子個数密度を計算できる

輸送計算に必要な断面積セットに含まれる実効巨視的断面積は、実効微視的断面積に、原子個数密度を乗じて得られる。MAILでも同じように、MGCLを処理して得られる実効微視的断面積に、入力データとして与えられた原子個数密度を乗じて実効巨視的断面積を求める。この一連の計算を行うために、プログラム利用者は退屈な入力データづくり、つまり原子個数密度の計算に励むことを強いられる。この計算は退屈なばかりか、使用する原子量、アボガドロ数、理論密度及びそれらの有効数字などが人によって微妙に異なるために、計算結果に差異が生じる。

そこで、MAIL3.0には原子個数密度を計算するサブルーチン [18] を新設した。MAIL3.0はTable 2.3に示す物質の原子個数密度計算に対処できる。これらの物質に限れば、プログラム利用者は原子個数密度の計算から開放され、原子個数密度の代わりに物質の識別子と物質の組成に関する僅かの情報を入力するだけでよい。

7. 構造材、減速材、中性子吸収材 (毒物) 等の原子個数密度が用意されている

原子個数密度計算のサブルーチンの新設と同様の趣旨で、臨界安全解析の際によく遭遇する燃料以外の物質の原子個数密度を、プログラム内にデータ文のかたちで収めた。利用したい物質の識別子を入力すると、その原子個数密度が読み出され、実効巨視的断面積の計算が行われる。

Table 2.2: MAIL3.1 が計算出来るダンコフ補正係数 C

配列型	C を計算出来る燃料の位置	計算手法
無限平板	中央 (無限)	ブラックリミット近似 にもとづく解析的手法
正方または六角格子状に 無限に配列された無限長燃料	中央、周辺、隅	モンテカルロ法
立方または六角晶格子状に 無限に配列された球燃料	中央	モンテカルロ法

Table 2.3: MAIL3.1 が原子個数密度を計算できる物質の一覧

U 系	Pu 系	U-Pu 系
U-H ₂ O	Pu-H ₂ O	PuO ₂ -UO ₂ -H ₂ O
UO ₂ -H ₂ O	PuO ₂ -H ₂ O	UO ₂ (NO ₃) ₂ - Pu(NO ₃) ₄ 水溶液
UO ₃ -H ₂ O	Pu(NO ₃) ₄ 水溶液	MOX ペレット
U ₃ O ₈ -H ₂ O	PuO ₂ ペレット	
UF ₄ -H ₂ O		
UF ₆ -HF		
UO ₂ F ₂ 水溶液		
ADU(II)*1)-H ₂ O		
ADU(III)*2)-H ₂ O		
ADU(IV)*3)-H ₂ O		
UO ₂ (NO ₃) ₂ 水溶液		
UO ₂ ペレット		

*1) 3UO₃ · NH₃ · 5H₂O*2) 2UO₃ · NH₃ · 3H₂O*3) 3UO₃ · 2NH₃ · 4H₂O

ADU は Ammonium diuranate(重ウラン酸アンモニウム) の略称

2.3 MAIL3.1 の特徴

KENO V 及び Hansen-Roach 断面積セットのユーザーのために以下に示す 2 つの機能を MAIL3.1 に追加した。

1. AMPX 形式の断面積セットを作成できる

MGCL ライブラリーと KENO V との組合せによる臨界計算を可能とするために、AMPX 形式の断面積セットを作成してその内容を論理機番 50 のファイルに書き込むことができる。

2. Hansen-Roach 断面積セットの核種識別子を印字できる

Hansen-Roach 断面積セットを利用する場合には、ひとつの煩わしい作業が伴う。この断面積セットに用意されている核種群のうち ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu 及び ^{240}Pu については、共鳴自己遮蔽効果を考慮する必要があるので、同一核種であってもポテンシャル散乱断面積 (σ_p) の値が異なる複数の核種識別子が存在する。そのため、これらの核種の識別子を選ぶ時には、あらかじめ計算対象に応じた σ_p を手計算で求めなければならない。さらに求めた値に等しい σ_p を持つ識別子など存在することはないので、求めた σ_p より大きい σ_p を持つ識別子と小さい σ_p を持つ識別子に振り分ける手続きが要求される。

この一連の作業をユーザーに代って処理するために、MAIL3.1 にサブルーチン HRCAL を新設した。その算法は第 11 章に詳しい。領域 (mixture) 中に存在するすべての核種の名前を MGCL の識別子を使って (MGCL-B-IV の識別子、MGCL-J3 識別子のどちらでもよいが、どちらかに統一すること) それらの個数密度とともに入力すれば、出力として Hansen-Roach 断面積セットの核種識別子とその個数密度が印字される。但し、以下に示すいくつかの制限がある。

- (a) Hansen-Roach 断面積セットにない核種識別子を指定した場合には、計算を停止する。
- (b) σ_p の計算に用いる散乱断面積 (σ_{scatt}) は次の核種等だけに限り用意されているので、領域の中にこれら以外の核種がある場合には計算を停止する。Al, B, C, F, Fe, H, K, Mo, N, Na, O, Si, Th, U, Cl, Pu, Cu, ^7Li , Nb, Ni, Zr, Cr, Mn。

- (c) 水の水素あるいは水素化ジルコニウムの水素の識別子が入力されると、それが燃料の中に含まれるときには 1101 を、反射体の中に含まれるときには 1102 を、それぞれ Hansen-Roach 断面積セットの識別子として印字する。
- (d) 計算で得られた σ_p の値が、Hansen-Roach 断面積セットに用意されている σ_p の値よりも大きいあるいは小さい場合には、計算値に最も近い値の σ_p を持つ識別子を印字する。

3 MAIL3.1 入力ガイド

本章は 3 つの節で構成されている。第 3.1 節では MAIL3.1 の基本的な入力データについて説明する。第 3.2 節では原子個数密度計算ルーチンの利用方法について説明する。第 3.3 節では汎用材料の原子個数密度の利用方法について説明する。

3.1 基本データ

基本データは **カード 1** から **カード 7** で構成される。**カード 1** (**カード 1** で指定するオプションによっては **カード 1-a** を含むこともある。) は 1 回だけ指定すればよい。**カード 2** から **カード 7** は輸送計算プログラムで解こうとする体系に含まれる物質領域 (燃料領域、被覆材領域、減速材領域等) の数だけ繰り返す。ここで、一例として水の中に燃料棒が並んだ体系を考える。この体系は燃料ペレット、被覆管及び水の 3 領域から構成されるので **カード 2** から **カード 7** を 3 回繰り返す必要がある。尚、各変数の前に示した数字は、それぞれのカードにおけるカラム数を表わしている。

カード 1 FORMAT(8I5)

- 1 - 5 MAXREG : 領域の数
- 6 - 10 IGM : 中性子エネルギー群数
- 11 - 15 IOPT : 断面積セット作成オプション 1
- = 0 実効微視的断面積のみを計算する
- = 1 ANISN 形式の断面積セットを作成する
- = 2 KENO 形式の断面積セットを作成する
- = 3 ANISN 形式の断面積セットと KENO 形式の断面積セットの双方を同時に作成する
- = 4 MULTI-KENO-3.0 形式の断面積セットを作成する
- = 5 AMPX 作業ライブラリー形式の断面積セットを作成する
- = 6 Hansen-Roach 断面積セット用の核種識別子とその個数密度を印字する
- 16 - 20 IPRINT : 断面積セット出力オプション
- = 0 出力しない
- = 1 出力する
- 21 - 25 IPL : 断面積セット作成オプション 2 (省略値 1)
- = 1 P_1 成分までの巨視的散乱データを作成する
- = 3 P_3 成分までの巨視的散乱データを作成する
- 26 - 30 ITEMp : f-table の温度内挿オプション
- = 0 温度内挿しない
- = 1 温度内挿する
- 31 - 35 IHFIT : 減速材質量効果補正オプション
- = 0 補正しない
- = 1 補正する
- 36 - 40 JENDL : MGCL ライブラリー選択オプション (省略値 4)
- = 3 MGCL-J3 を参照する
- = 4 MGCL-B-IV を参照する

[注意]

1. KENO 形式の断面積セットは KENO IV の他に、MULTI-KENO-2 及び SIMCRI でも利用できる。MULTI-KENO-2 と MULTI-KENO-3.0 の違いについては第 12 章を参照されたい。
2. MGCL-J3 を利用する場合のみ'IPL=3'を指定できる。
3. MGCL-J3 を利用する場合のみ'IHFIT=1'を指定できる。

カード 1 - a FORMAT(3F10.0)

- 1 - 10 **TEMP1** : 論理ユニット FT11 に割当てて MGCL ライブラリーの温度 [K]
 11 - 20 **TEMP2** : 論理ユニット FT12 に割当てて MGCL ライブラリーの温度 [K]
 21 - 30 **TEMP** : 内挿温度 [K]

[注意]

1. **カード 1-a** は **カード 1** の **ITEMP** がゼロでない場合のみ必要となる。
2. MGCL ライブラリーでは、20[℃]=293.15[K] としている。

カード 2 FORMAT(A80)

I - 80 ITITLE : 各領域の標題

[注意]

1. ITITLE は任意の英数字。核燃料物質の原子個数密度計算を実行する場合、及び汎用物質の原子個数密度データを参照する場合には、このカードの先頭の数文字を使って物質の種類を指定する(入力ガイド第 3.2 節及び第 3.3 節参照)。したがって、ITITLE は任意の英数字ではあるが若干の制約があるので、注意されたい。
2. **カード 2** から **カード 7** まではひとつの組をなす。これを MAXREG (**カード 1**) 組入力しなければならない。
3. ITITLE の先頭 (第 1 カラム) が * で始まる場合には、この後で説明する **カード 3** は不必要となる。(但し、*UO2-PELLET*、*PUO2-PELLET*、*MOX-PELLET* の場合には **カード 3** は必要。) しかし、**カード 3** を用いないと、当該領域に核分裂性核種が含まれている、いない、の指定ができなくなる。このような場合 (ITITLE の先頭が * で始まる場合) には、**カード 3** の代りに **カード 2** の 34 カラム目以降を利用して、当該領域に核分裂性核種が含まれている、いない、の指定を行う。凡例を以下に示す。凡例中の "...." はブランクのカラムを表す。34 カラム目以降の 1 つの変数は、**カード 3** の KAI1 に対応している。この変数の詳細は **カード 3** の解説を参照。

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6
*(U+PU)NO3*.....9999999

```

カード 3 FORMAT(4I5, F10.0, 3X, I7, 3X, A7, 3X, A7)
--

- 1 - 5 NMAX : 領域内の核種数
- 6 - 10 IREG : ダンコフ補正オプション
 = 0 均質燃料、非燃料
 = 10 無限配列された無限平板燃料
 = 20 正方格子状に配列された無限長棒燃料 (有限配列の中央、無限配列)
 = 21 正方格子状に配列された無限長棒燃料 (有限配列の周辺)
 = 22 正方格子状に配列された無限長棒燃料 (有限配列の隅)
 = 30 三角格子状に無限配列された無限長棒燃料
 = 40 立方格子状に配列された球燃料 (有限配列の中央、無限配列)
 = 41 立方格子状に配列された球燃料 (有限配列の表面)
 = 42 立方格子状に配列された球燃料 (有限配列の稜線)
 = 43 立方格子状に配列された球燃料 (有限配列の隅)
 = 50 六方晶状に配列された球燃料 (有限配列の中央、無限配列)
- 11 - 15 KPRINT : 微視的断面積 (σ_{eff})、f-table 出力オプション
 = 0 σ_{eff} 及び f-table を出力する
 = 1 σ_{eff} を出力する
 = 2 f-table を出力する
 = 3 出力しない
- 16 - 20 NSTOP : バックグラウンド断面積 (σ_0) 計算における繰返し計算の打ち切り回数
 (省略値 30)
- 21 - 30 EPSL : σ_0 計算における繰返し計算の収束判定値 (省略値 0.0001)
- 34 - 40 KAI1 : 当該領域に核分裂性核種が含まれている、いない、の指定
 =0 核分裂性核種を含まない領域
 = 9999999 核分裂性核種を含む領域

[注意]

1.

カード 3

 は、ITITLE の先頭が * 以外の文字で始る場合に必要となる。(但し、*UO2-PELLET*、*PUO2-PELLET*、*MOX-PELLET* の場合には、ダンコフ補正オプションの指定が不可欠となるために、

カード 3

 が必要となる。この場合、NMAX は任意の値でよい。)
2. 燃料の実効微視的 (巨視的) 断面積の計算に非均質効果を取り入れる場合には、IREG $\neq$ 0 とする。均質燃料及び燃料以外の物質の場合は、IREG = 0 とする。

カード 4 FORMAT(6(3X,I7))

1 - 10 JNAME(1) : 領域に含まれる核種の識別子
 11 - 20 JNAME(2) : *
 21 - 30 JNAME(3) : *
 31 - 40 JNAME(4) : *
 41 - 50 JNAME(5) : *
 51 - 60 JNAME(6) : *

[注意]

1. **カード 4** は ITITLE (**カード 2**) の先頭が * 以外の文字で始まる場合に必要となる。
核種数が 6 を超える場合には、必要なだけこのカードを繰返して挿入する。核種の識別子は第 9 章に記す。

カード 5 FORMAT(6F10.0)

1 - 10	DEN(1) : 核種 JNANE(1) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]
11 - 20	DEN(2) : 核種 JNANE(2) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]
21 - 30	DEN(3) : 核種 JNANE(3) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]
31 - 40	DEN(4) : 核種 JNANE(4) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]
41 - 50	DEN(5) : 核種 JNANE(5) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]
51 - 60	DEN(6) : 核種 JNANE(6) の原子個数密度 [atoms/barn-cm]

[注意]

1. **カード 5** は ITITLE (**カード 2**) の先頭が * 以外の文字で始る場合に必要で、 **カード 4** と対をなす。核種数が 6 を超える場合には、必要なだけこのカードを繰返して挿入する。

カード 6(核燃料物質の組成)

カード 6 は ITITLE (**カード 2**) の先頭が * で始まり、原子個数密度の計算をプログラムに委ねる場合に必要となる。詳細は入力ガイド 第 3.2 節 「原子個数密度計算ルーチンの利用方法」を参照されたい。

カード 7-1 FORMAT(3F10.0)

- 1 - 10 THFUEL : 燃料板の厚さ (被覆材を含まない) [cm]
- 11 - 20 THMODL : 燃料間の減速材の厚さ [cm]
- 21 - 30 CROSS1 : 減速材の熱外群の巨視的全断面積 [cm^{-1}]

[注意]

1.

カード 7-1

 は $\text{IREG} = 10$ (

カード 3

) の場合に必要となる。
2. 臨界計算でよく遭遇する被覆材、減速材の熱外群 (137 群 MGCL ライブラリーの群構造の第 73、74 群) の巨視的全断面積の標準値を **Table 3.1** に例示する。これらの物質以外の熱外群の巨視的全断面積を求めるには、予備的に MAIL3.1 を実行して巨視的全断面積を印字し、第 73 群または第 74 群の値を読取ればよい。

Table 3.1: 巨視的全断面積の標準値

物質	巨視的全断面積 [cm^{-1}]
アルミニウム	0.085
水	1.487
ジルカロイ-4	0.265
空気	4.000E-4
SUS304L ステンレス鋼	10.5

カード 7-2 FORMAT(5F10.0)

1 - 10 **PICHI** : 燃料の間隔 [cm]
 11 - 20 **PELETR** : 燃料の半径 [cm]
 21 - 30 **FUELR** : 被覆材の外半径 [cm]
 31 - 40 **CROSS2** : 被覆材の熱外群の巨視的全断面積 [cm^{-1}]
 41 - 50 **CROSS1** : 減速材の熱外群の巨視的全断面積 [cm^{-1}]

[注意]

1. **カード 7-2** は **IREG** = 20 ~ 30 (**カード 3**) の場合に必要となる。
2. 減速材の熱外群の巨視的全断面積をゼロとすると、すなわち **CROSS1** = 0 とするとゼロ割りが発生する。
3. 臨界計算でよく遭遇する被覆材、減速材の熱外群 (137 群 MGCL ライブラリーの群構造の第 73, 74 群) の巨視的全断面積の標準値を **Table 3.1** に例示する。これらの物質以外の熱外群の巨視的全断面積を求めるには、予備的に **MAIL3.1** を実行して巨視的全断面積を印字し、第 73 群または第 74 群の値を読取ればよい。

カード 7 - 3 FORMAT(3F10.0)

- 1 - 10 **PICHI** : 燃料の間隔 [cm]
 11 - 20 **PELETR** : 燃料の半径 [cm]
 21 - 30 **CROSS1** : 減速材の熱外群の巨視的全断面積 [cm⁻¹]

[注意]

1. **カード 7 - 3** は **IREG** = 40 ~ 50 (**カード 3**) の場合に必要となる。
2. 減速材の熱外群の巨視的全断面積をゼロとすると、すなわち **CROSS1** = 0 とするとゼロ割りが発生する。
3. 臨界計算でよく遭遇する被覆材、減速材の熱外群 (137 群 MGCL ライブラリーの群構造の第 73、74 群) の巨視的全断面積の標準値を **Table 3.1** に例示する。これらの物質以外の熱外群の巨視的全断面積を求めるには、予備的に **MAIL3.1** を実行して巨視的全断面積を印字し、第 73 群または第 74 群の値を読取ればよい。
4. 被覆材の無い燃料を想定しているので、被覆材付き燃料は取扱えない。

3.2 原子個数密度計算ルーチンの利用方法

MAIL3.1 は Table 3.2 に示す核燃料物質の原子個数密度の計算が可能である。カード 2 の ITITLE の先頭で核燃料物質の識別子を指定すれば、その物質の原子個数密度が計算され、巨視的断面積セットの計算に使用される。燃料の原子個数密度の計算には燃料識別子の他に、本節に示す組成データの入力及要求される。

Table 3.2: MAIL3.1 が原子個数密度を計算できる物質の一覧

物質名	燃料識別子
U-H ₂ O	*U*
UO ₂ -H ₂ O	*UO2*
UO ₃ -H ₂ O	*UO3*
U ₃ O ₈ -H ₂ O	*U3O8*
UF ₄ -H ₂ O	*UF4*
UF ₆ -HF	*UF6*
UO ₂ F ₂ 水溶液	*UO2F2*
ADU(II)* ¹⁾ -H ₂ O	*ADU2*
ADU(III)* ²⁾ -H ₂ O	*ADU3*
ADU(IV)* ³⁾ -H ₂ O	*ADU4*
UO ₂ (NO ₃) ₂ 水溶液	*(U+PU)NO3*
Pu(NO ₃) ₄ 水溶液	〃
UO ₂ (NO ₃) ₂ - Pu(NO ₃) ₄ 水溶液	〃
Pu-H ₂ O	*PU*
PuO ₂ -H ₂ O	*PUO2*
PuO ₂ -UO ₂ -H ₂ O	*MOX*
UO ₂ ペレット	*UO2-PELLET*
PuO ₂ ペレット	*PUO2-PELLET*
MOX ペレット	*MOX-PELLET*
H ₂ O	*H2O*

*1) 3UO₃ · NH₃ · 5H₂O*2) 2UO₃ · NH₃ · 3H₂O*3) 3UO₃ · 2NH₃ · 4H₂O

ADU は Ammonium diuranate(重ウラン酸アンモニウム) の略称

U、*UO2*、*UO3*、*U3O8*、*ADU*、*UF4* のいずれかを指定したとき

カード 6a FORMAT(3F10.0, 2I5)

- 1 - 10 ENR : ウラン濃縮度 [wt%]
 11 - 20 CONC : ウラン濃度 (単位は IOXIDE で指定する)
 21 - 30 HBU : H/U 原子個数比 [-]
 31 - 35 IOXIDE : CONC の単位識別子
 = 0 [gU/cm³] 単位
 = 100 [gUO₂/cm³] 単位
 36 - 40 IT : 水の温度 [℃]

[注意]

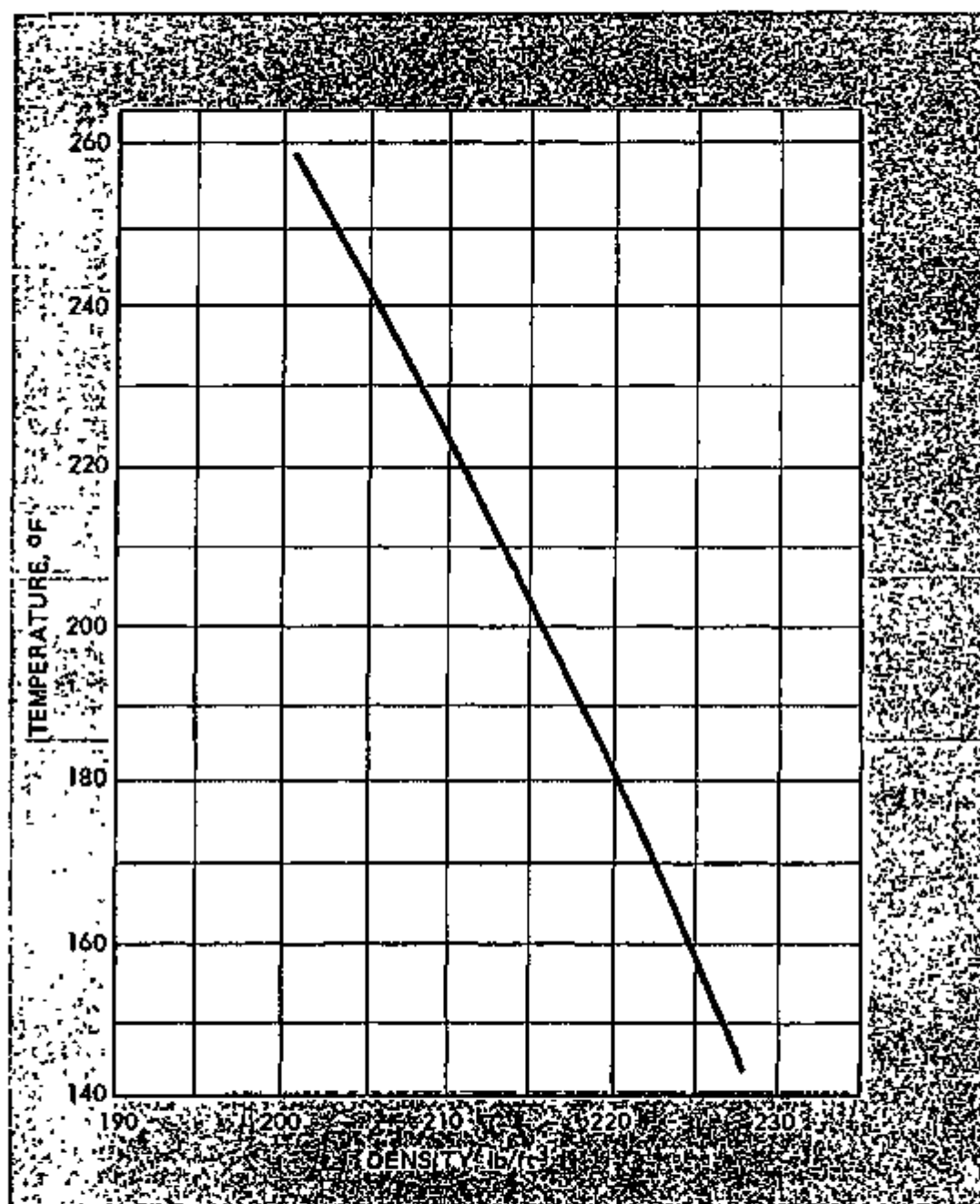
1. 物質中に空隙がなければウラン濃度と H/U 原子個数比のあいだには一定の関係が成立する。したがって CONC あるいは HBU のいずれかを指定すればよい。CONC < 0.0 かつ HBU ≥ 0.0 の場合には、HBU に基づき CONC が計算される。一方 CONC ≥ 0.0 かつ HBU < 0.0 の場合には、CONC に基づき HBU が計算される。
2. 物質中に空隙がある場合 (例えば、UO₂ 粉末) には、CONC 及び HBU の両方を指定する。但し CONC ≥ 0.0 かつ HBU ≥ 0.0 である。また、実際には在り得ない CONC と HBU の組合せ (H/U 原子個数密度対ウラン濃度曲線の外側にあたる領域) は避ける。
3. IOXIDE =100 を指定できるのは *UO2* の場合に限られる。その他の燃料では常に IOXIDE =0 とする。
4. H/U の分母は全ウランを指す。
5. IT は 1 から 100℃ まで 1℃ 間隔で指定できる。IT =0 は 20℃ を指定したことに等しい。

UF₆* を指定したとき*カード 6b FORMAT(4F10.0)**

- 1 - 10 DUF6HF : UF₆-HF 理論密度 [g/cm³] (HF は不純物)
 11 - 20 ENR : ウラン濃縮度 [wt%]
 21 - 30 CONC : ウラン濃度 [gU/cm³] (CONC < DUF6HF)
 31 - 40 P : UF₆ の純度 [wt%] (UF₆/(UF₆+HF) 重量比)

[注意]

1. UF₆-HF の理論密度は温度依存性が強いので、温度に応じた密度を入力する必要がある。その一例として、5.09g/cm³ (温度 20℃、UF₆ 純度 99.5 wt% の場合) を挙げておく。
2. CONC =0.0 とすれば、理論密度状態における個数密度が得られる (この状態では、理論密度とウラン濃度のあいだには一定の関係があるので、ウラン濃度の入力是不用になる)。
3. UF₆ 密度は温度依存性が強い。UF₆ 密度対温度 曲線の一例を下記文献から転載して **Figure 3.1** に示す。"Uranium Hexafluoride : Handling and Container Criteria," ORO-651 Revision 4(1977)

Figure 31: 液体 UF_6 の温度と密度の関係

(U+PU)NO3 を指定したとき

カード 6c - 1 FORMAT(3F10.0,I5)

- 1 - 10 CU : ウラン濃度 [gU/l]
 11 - 20 CPU : プルトニウム濃度 [gU/l]
 21 - 30 HBU : 硝酸の酸性度 [mol/l]
 31 - 35 IT : 溶液の温度 [℃]

[注意]

1. ウラン及びプルトニウム濃度は [gU/l] で入力する。
2. カード 6c - 2 で入力するウラン及びプルトニウムの同位体比の合計はいずれも 100.0 に等しくなければならない。

(U+PU)NO3 を指定したとき

カード 6c - 2 FORMAT(7F10.0)

1. CU > 0.0 かつ CPU = 0.0 の場合

- 1 - 10 ABD(1) : ^{235}U の同位体比 [wt%]
 11 - 20 ABD(2) : ^{238}U の同位体比 [wt%]

2. CU = 0.0 かつ CPU > 0.0 の場合

- 1 - 10 ABD(3) : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]
 11 - 20 ABD(4) : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]
 21 - 30 ABD(5) : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]
 31 - 40 ABD(6) : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]
 41 - 50 ABD(7) : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]

3. CU > 0.0 かつ CPU > 0.0 の場合

- 1 - 10 ABD(1) : ^{235}U の同位体比 [wt%]
 11 - 20 ABD(2) : ^{238}U の同位体比 [wt%]
 21 - 30 ABD(3) : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]
 31 - 40 ABD(4) : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]
 41 - 50 ABD(5) : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]
 51 - 60 ABD(6) : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]
 61 - 70 ABD(7) : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]

***PU*、*PUO2* のいずれかを指定したとき**

カード 6d FORMAT(7F10.0, 2I5)

- 1 - 10 CONC : プルトニウム濃度 (単位は IOXIDE で指定する)
- 11 - 20 HBPU : H/Pu 原子個数比 [-]
- 21 - 30 WP238 : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]
- 31 - 40 WP239 : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]
- 41 - 50 WP240 : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]
- 51 - 60 WP241 : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]
- 61 - 70 WP242 : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]
- 71 - 75 IOXIDE : CONC の単位識別子
 =0 [gPu/cm³] 単位
 =100 [gPuO₂/cm³] 単位
- 76 - 80 IT : 水の温度 [℃]

[注意]

1. CONC、HBPU 及び IT の取扱いは **カード 6a** と同様である。HBPU と含水率の関係を次の 2 ページにまとめたので、参照されたい。
2. IOXIDE =100 を指定できるのは *PUO2* の場合に限られる。*PU* の場合には常に IOXIDE =0 とする。
3. H/Pu の分母は全プルトニウムを指す。
4. 同位体比の合計は 100.0 でなければならない。

3.2.1 均質 PuO₂ 粉末-H₂O の含水率と H/Pu 原子個数比の関係

以下では均質 PuO₂ 粉末-H₂O を例に、含水率と H/Pu 原子個数比とを関係付ける式を導出する。他の類似の燃料 (たとえば均質 UO₂ 粉末-H₂O) についても同じ考え方で式を作ることができる。

均質 PuO₂ 粉末-H₂O を、PuO₂ と空隙と少量の水とが均質に混合した物質と考える。PuO₂ の密度は理論密度以下とする。MAIL3.1 を利用して、このような物質の原子個数密

度を求める場合には、**カード 2** の ITITLE の先頭で *PUO2* を入力し、次に前ページの **カード 6d** を続ければよい。

カード 6d の変数のうち、HBPU (H/Pu 原子個数比 [—]) について説明する。H/Pu 原子個数比とは、物質中に含まれる水素原子の数とプルトニウム原子の数の比で、物質中の水分量を表す指標の 1 つである。H/Pu 原子個数比は、核燃料物質の組成を表すための変数の 1 つとして、臨界安全ハンドブック等ではよく用いられる。ところがこのような物質を実際に取扱う施設では、H/Pu 原子個数比に代って、含水率が水分量を表す指標としてよく使われる。含水率は次に述べる方法で、簡単に H/Pu 原子個数比に変換できる。

いま均質 PuO_2 粉末- H_2O の PuO_2 の密度を $\rho(\text{PuO}_2)$ 、水の密度を $\rho(\text{H}_2\text{O})$ とすると、H/Pu 原子個数比すなわち HBPU は次のように表すことができる。

$$HBPU = \frac{2 \cdot \frac{\rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot N_A}{A(\text{H}_2\text{O})}}{\frac{\rho(\text{PuO}_2) \cdot N_A}{A(\text{PuO}_2)}} = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{PuO}_2)} \cdot \frac{A(\text{PuO}_2)}{A(\text{H}_2\text{O})} \quad (3.1)$$

ここで、 $A(x)$ は分子 x の分子量、 N_A はアボガドロ数である。含水率 (重量比) を $a(a \leq 1.0)$ とすると、その定義の 1 つとして、次の式が考えられる。

含水率の定義 1

$$a = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{PuO}_2) + \rho(\text{H}_2\text{O})} \quad (3.2)$$

この式 (3.2) を $\rho(\text{H}_2\text{O})$ について解き、式 (3.1) に代入すると、次の式を得る。

$$HBPU = 2 \cdot \frac{a}{1-a} \cdot \frac{A(\text{PuO}_2)}{A(\text{H}_2\text{O})} = 30 \cdot \frac{a}{1-a} \quad (3.3)$$

この式により、含水率を H/Pu 原子個数比に変換できる。含水率の定義としてもう 1 つ考えられる。

含水率の定義 2

$$a = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{PuO}_2)} \quad (3.4)$$

この式 (3.4) を $\rho(\text{H}_2\text{O})$ について解き、式 (3.1) に代入すると、次の式を得る。

$$HBPU = 2 \cdot a \cdot \frac{A(\text{PuO}_2)}{A(\text{H}_2\text{O})} = 30 \cdot a \quad (3.5)$$

以上で、考えられる 2 種類の含水率を H/Pu 原子個数比に変換できる式が導出できた。なお、式 (3.3) 及び式 (3.5) で用いた数値は、あくまで説明のため仮に用いたものであって、精度が粗い。実際にはもっと精度の高い値を使用する。

式 (3.3) 及び式 (3.5) を用いて、含水率が 0.01 及び 0.05 の均質 PuO_2 粉末 - H_2O の H/Pu 原子個数比を概算すると、以下の Table 3.3 ようになる。

Table 3.3: 含水率

含水率	H/Pu 原子個数比 [-]	
	含水率の定義 1	含水率の定義 2
0.01	0.303	0.300
0.05	1.58	1.50
0.1	3.33	3.00

上の表から、含水率が低い (たとえば 0.01) あいだは、含水率の定義として 1 及び 2 のどちらを使っても、H/Pu 原子個数比に大きな違いはないことが分る。しかし、含水率が高く (たとえば 0.1) になると H/Pu 原子個数比に 10 % 以上の違いが生じる。

最後に、ここで用いた含水率は重量比 (≤ 1.0) であって、重量パーセントではないことに注意してほしい。

UO₂F₂ を指定したとき

カード 6e FORMAT(3F10.0)

- 1 - 10 ENR : ウラン濃縮度 [wt%]
 11 - 20 CONC : ウラン濃度 [gU/cm³]
 21 - 30 HBU : H/U 原子個数比

【注意】

1. この燃料の場合、 $\text{CONC} > 0.0$ かつ $\text{HBU} \leq 0.0$ あるいは $\text{CONC} < 0.0$ かつ $\text{HBU} \geq 0.0$ でなければならない。 $\text{CONC} \geq 0.0$ かつ $\text{HBU} \geq 0.0$ の組合せ、すなわち、空隙の存在は許されない。
2. 溶液温度は指定できない。25℃ 一定である。

MOX* を指定したとき*カード 6f - 1 FORMAT(4F10.0)**

- 1 - 10 CONC : (ウラン+プルトニウム) 濃度 (単位は IOXIDE で指定する)
 11 - 20 HBUPU : $H/(U+Pu)$ 原子個数比 [-]
 21 - 30 ENRPU : プルトニウム富化度 (酸化物重量比) [wt%]
 31 - 40 ENR : ウラン濃縮度 [wt%]

カード 6f - 2 FORMAT(5F10.0,2I5)

- 1 - 10 WP238 : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]
 11 - 20 WP239 : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]
 21 - 30 WP240 : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]
 31 - 40 WP241 : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]
 41 - 50 WP242 : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]
 51 - 55 IOXIDE : CONC の単位識別子
 = 0 [g(U+Pu)/cm³] 単位
 = 100 [g(UO₂+PUO₂)/cm³] 単位
 56 - 60 IT : 水の温度 [℃]

[注意]

1. CONC、HBUPU 及び IT の取扱いは **カード 6a** と同様である。
2. $H/(U+Pu)$ の分母は全ウランと全プルトニウムの和である。
3. プルトニウム同位体比の合計は 100.0 でなければならない。

UO₂-PELLET を指定したとき

カード 6g - 1 FORMAT(2F10.0)

- 1 - 10 DTD : ペレット密度 [gUO₂/cm³] または [%]
 11 - 20 OM : 酸素対金属原子個数比 (O/M) [-]

カード 6g - 2 FORMAT(4F10.0)

- 1 - 10 WU234 : ²³⁴U の同位体比 [wt%]
 11 - 20 WU235 : ²³⁵U の同位体比 [wt%]
 21 - 30 WU236 : ²³⁶U の同位体比 [wt%]
 31 - 40 WU238 : ²³⁸U の同位体比 [wt%]

[注意]

1. DTD の指定は 2 通りある。ひとつはペレットの密度が既知の場合で、密度に負号を付けて [gUO₂/cm³] 単位で指定する方法 (例えば密度が 10.4 gUO₂/cm³ ならば、DTD = -10.4 とする)。もうひとつは、UO₂ 理論密度に対するペレット密度の比が既知の場合で、その値を [%] で指定する方法である (例えばペレット密度が UO₂ 理論密度の 85 % ならば、DTD = 85.0 とする)。後者の場合、理論密度の計算はプログラムが行う。
2. UO₂ や PUO₂ の O/M は理論的には 2.0 であるが、実際には理論値と若干異なる。例えば、日本原子力研究所の軽水臨界実験装置 (TCA) で使われている濃縮度 2.596 % の UO₂ ペレットの O/M は 2.04 である。

PUO2-PELLET を指定したとき**カード 6h - 1 FORMAT(2F10.0)**1 - 5 DTD : ペレット密度 [$\text{gPuO}_2/\text{cm}^3$] または [%]

11 - 20 OM : 酸素対金属原子個数比 (O/M) [-]

カード 6h - 2 FORMAT(7F10.0)1 - 10 WP238 : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]11 - 20 WP239 : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]21 - 30 WP240 : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]31 - 40 WP241 : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]41 - 50 WP242 : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]51 - 60 WP241 : Pu 中の ^{241}Am の量 [ppm]61 - 70 WP237 : Pu 中の ^{237}Np の量 [ppm]

[注意]

1. DTD 及び OM の取扱いは **カード 6g - 1** と同様。
2. [ppm] とは [$\mu\text{g/g}$]、すなわち [10^{-6}g/g] のことで、 10^{-4} [wt%] に等しい。

MOX-PELLET を指定したとき**カード 6i - 1 FORMAT(3F10.0)**

- 1 - 10 PUI : プルトニウム富化度 (酸化物重量比) [wt%]
 11 - 20 DTD : ペレット密度 [gUO_2/cm^3] または [%]
 21 - 30 OM : 酸素対金属原子個数比 (O/M) [-]

カード 6i - 2 FORMAT(4F10.0)

- 1 - 10 WU234 : ^{234}U の同位体比 [wt%]
 11 - 20 WU235 : ^{235}U の同位体比 [wt%]
 21 - 30 WU236 : ^{236}U の同位体比 [wt%]
 31 - 40 WU238 : ^{238}U の同位体比 [wt%]

[注意]

1. DTD 及び OM の取扱いは **カード 6g - 1** と同様。

カード 6i - 3 FORMAT(7F10.0)

- 1 - 10 WP238 : ^{238}Pu の同位体比 [wt%]
 11 - 20 WP239 : ^{239}Pu の同位体比 [wt%]
 21 - 30 WP240 : ^{240}Pu の同位体比 [wt%]
 31 - 40 WP241 : ^{241}Pu の同位体比 [wt%]
 41 - 50 WP242 : ^{242}Pu の同位体比 [wt%]
 51 - 60 WP241 : Pu 中の ^{241}Am の量 [ppm]
 61 - 70 WP237 : Pu 中の ^{237}Np の量 [ppm]

H₂O を指定したとき

カード 6j - 1 FORMAT(I5)

1 - 5 IT : 水の温度 [℃]

[注意]

1. IT の取扱いは カード 6a と同様。

3.3 汎用材料の原子個数密度の利用方法

MAIL3.1 は Table 3.4 に示す汎用物質の原子個数密度を内蔵している。カード 2 の ITITLE の先頭で、利用したい物質の識別子をこの表に従って指定すれば、その物質の断面積セットが得られる。各物質の原子個数密度及びその算出に使用した組成データの詳細は第 3.3.1 項で述べる。

Table 3.4: MAIL3.1 が内蔵する汎用物質の識別子

物質名	汎用物質識別子
空気	*AIR*
アルミニウム	*ALUMINUM*
鉛	*LEAD*
カドミウム	*CADMIUM*
ハフニウム	*HAFNIUM*
SUS-304 ステンレス鋼	*SUS-304*
SUS-316 ステンレス鋼	*SUS-316*
炭素鋼	*C-STEEL*
ジルカロイ-2	*ZIRCALOY-2*
ジルカロイ-4	*ZIRCALOY-4*
プレキシグラス	*PLEXIGLAS*
ポリエチレン	*POLYETHYLENE*
アスファルト	*ASPHALT*
普通コンクリート	*CONCRETE*
ラシヒリング (13wt%B ₂ O ₃)	*13%B-GLASS*
ポリエチレン (10wt%B ₂ O ₃)	*10%B-POLYETHYLENE*
ポリエチレン (20wt%B ₂ O ₃)	*20%B-POLYETHYLENE*
ポリエチレン (30wt%B ₂ O ₃)	*30%B-POLYETHYLENE*
コンクリート (2.6wt%B ₂ O ₃)	*2.6%B-CONCRETE*
コンクリート (0.26wt%B ₂ O ₃)	*0.26%B-CONCRETE*
ステンレス鋼 (1.0wt%B)	*1%B-SUS*
ボラル	*BORAL*
炭化ホウ素 (B ₄ C ; 78.26wt%B)	*B ₄ C*

3.3.1 MAIL3.1 に用意されている構造材、減速材、中性子毒物等の原子個数密度

標記データを Table 3.5 から Table 3.27 に示す。これらのデータの算出にはアボガドロ数として 6.022045×10^{23} を使用した。この値は最近頻繁に更新されており、もし最新の値に基づく原子個数密度を利用したいときには、サブルーチン MATTER の算術式を一つ修正すればよい。

Table 3.5: 空気の原子個数密度

空気	
密度 [g/cm ³]	: 0.001249 (20℃)
成分 [wt%]	H: 0.001 C: 1.2554 N: 75.470 O: 23.233
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	H: 7.1991×10^{-8} C: 7.5847×10^{-7} N: 3.9099×10^{-5} O: 1.0538×10^{-5}
引用文献	: 小山隆二 他, “遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群 P5近似——,” JAERI-M 6928, p.33(1977)
識別子	: #AIR#

Table 3.6: アルミニウムの原子個数密度

アルミニウム	
密度 [g/cm ³] :	2.699
成分 [wt%]	Al : 100
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	Al : 8.0244×10^{-2}
引用文献 :	小山謹二 他, "遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群 P5近似——," JAERI-H 6928, p.33(1977)
識別子 :	#ALMINUM#

Table 3.7: 鉛の原子個数密度

鉛
密度 [g/cm ³] : 11.340
成分 [wt%] Pb : 100.0
原子個数密度 [atoms/barn·cm] Pb : 3.2960×10^{-2}
引用文献 : 小山健二 他, “遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群 P5近似——,” JAERI-M 6928, p.34(1977)
識別子 : #LEAD#

Table 3.8: カドミウムの原子個数密度

カドミウム(天然)	
密度は下記文献から引用した。カドミウムの原子量を112.3438として原子個数密度を計算した。	
密度 [g/cm ³] :	8.65
原子個数密度 [atoms/barn-cm]	Cd : 4.6367×10^{-2}
引用文献 : 長谷川正義、三農良績 監修、"原子炉材料ハンドブック," 日刊工業新聞社(1977)	
識別子 :	#CADMIUM

Table 3.9: ハフニウム (天然) の原子個数密度

ハフニウム(天然)	
密度及び存在比は下記文献から引用した。	
密度 [g/cm ³] : 13.08	
存在比[個数%]	¹⁷⁴ Hf : 0.16 ¹⁷⁶ Hf : 5.2 ¹⁷⁷ Hf : 18.6 ¹⁷⁸ Hf : 27.1 ¹⁷⁹ Hf : 13.7 ¹⁸⁰ Hf : 35.2
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	¹⁷⁴ Hf : 7.0637×10^{-5} ¹⁷⁶ Hf : 2.2957×10^{-3} ¹⁷⁷ Hf : 8.2116×10^{-3} ¹⁷⁸ Hf : 1.1964×10^{-2} ¹⁷⁹ Hf : 6.0483×10^{-3} ¹⁸⁰ Hf : 1.5540×10^{-2}
引用文献 : “理化学事典,” 岩波書店	
識別子 : #HAFNIUM#	

Table 3.10: SUS-304 ステンレス鋼の原子個数密度

SUS-304 ステンレス鋼	
密度 [g/cm ³] : 7.91	
成分 [wt%]	C: 0.08 Si: 1.0 P: 0.045 S: 0.03 Cr: 19.0 Mn: 2.0 Fe: 67.845 Ni: 10.0
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	C: 3.1729×10^{-4} Si: 1.6962×10^{-3} S: 4.4572×10^{-5} Cr: 1.7408×10^{-2} Mn: 1.7343×10^{-3} Fe: 5.7672×10^{-2} Ni: 8.1116×10^{-3} (Pは無視した)
参考文献 : 小山健二 他、"遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群・ P ₀ 近似——、" JAERI-M 6928, p.35(1977)	
識別子 : *SUS-304*	

Table 3.11: SUS-316 ステンレス鋼の原子個数密度

SUS-316 ステンレス鋼	
密度 [g/cm ³] : 7.91	
成分 [wt%]	C: 0.08 Si: 1.0 P: 0.045 S: 0.03 Cr: 17.0 Mn: 2.0 Fe: 65.345 Ni: 12.0 Mo: 2.5
原子個数密度 [atoms/barn-cm]	C: 3.1729×10^{-4} Si: 1.6962×10^{-3} S: 4.4572×10^{-5} Cr: 1.5575×10^{-2} Mn: 1.7343×10^{-3} Fe: 5.5740×10^{-2} Ni: 9.7339×10^{-3} Mo: 1.2421×10^{-3} (Pは無視した)
参考文献 : 小山隆二 他、"遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群・ P _e 近似——、" JAERI-M 6928, p.35(1977)	
識別子 : *SUS-316*	

Table 3.12: 炭素鋼の原子個数密度

炭素鋼	
SS34、SS41、SS50、SS55の四種類がJIS規格で規定されている。いずれも微量のMn、Si、P、S、Cを含む。代表的な密度と成分を以下に示す。	
密度 [g/cm ³]	7.8
成分 [wt%]	Fe: 99.1 C: 0.32 Mn: 0.30 Si: 0.20 P: 0.04 S: 0.04
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	Fe: 8.3319×10^{-2} C: 1.2514×10^{-3} Mn: 2.5650×10^{-4} Si: 3.3449×10^{-4} P: 6.0660×10^{-5} S: 5.8599×10^{-5}
引用文献	①日本規格協会, “JISハンドブック 鉄鋼,” p.315 (1983) ②日本鉄鋼協会編, “鉄鋼便覧,” 丸善(株) (1975)
識別子	*C-STEEL*

Table 3.13: ジルカロイ-2 の原子個数密度

ジルカロイ-2	
下記文献の表2.4中の「通常製品の分析例」の項から引用した。	
密度 [g/cm ³] : 6.55	
成分 [wt%]	Zr : 98.21 Sn : 1.50 Fe : 0.13 Cr : 0.10 Ni : 0.06 Hf : 70[ppm]
原子個数密度 [atoms/barn-cm]	Zr : 4.2465×10^{-2} Sn : 4.9797×10^{-4} Fe : 8.1782×10^{-5} Cr : 7.5861×10^{-5} Ni : 4.0314×10^{-5} ¹⁷⁴ Hf : 2.4761×10^{-8} ¹⁷⁶ Hf : 8.0473×10^{-8} ¹⁷⁷ Hf : 2.8784×10^{-7} ¹⁷⁸ Hf : 4.1937×10^{-7} ¹⁷⁹ Hf : 2.1201×10^{-7} ¹⁸⁰ Hf : 5.4472×10^{-7}
参考文献 : 長谷川正義、三島良樹 監修、「原子炉材料ハンドブック」, 日刊工業新聞社(1977)	
識別子 : *ZIRCALOY-2*	

Table 3.14: ジルカロイ-4 の原子個数密度

ジルカロイ-4	
密度 [g/cm ³] : 6.553	
成分 [wt%]	Cr : 0.099988 Fe : 0.20998 Zr : 98.240 Sn : 1.4510
原子個数密度 [atoms/barn · cm]	Cr : 7.5891×10^{-5} Fe : 1.4638×10^{-4} Zr : 4.2982×10^{-2} (Snも含む)
引用文献 : 小山隆二 他, “遮蔽材料の群定数——中性子100群・ガンマ線20群 P5近似——,” JAERI-M 6928, p.35(1977)	
識別子 : #ZIRCALOY-4*	

Table 3.15: プレキシグラスの原子個数密度

プレキシグラス(メチルメタクリレートプラスチック、 $\text{CH}_2:\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2(\text{CH}_3)$)	
プレキシグラスは米国の Rohm & Haas カンパニーの登録商標である。透明度がきわめて良好な熱可塑性の個体で、弾性に富み衝撃にも耐える有機ガラスである。燃えにくいものとそうでないものと二種類があるが、ここでは後者のデータを示す。	
密度 [g/cm ³]:	1.185[g/cm ³]
成分 [wt%]	H: 7.84 C: 59.59 O: 32.23
原子個数密度 [atoms/barn-cm]	H: 5.5509×10^{-2} C: 3.5404×10^{-2} O: 1.4735×10^{-2}
引用文献	Grover Tuck and Inki Oh, "Benchmark Critical Experiments on Low-enriched Uranium Oxide Systems with H/U=0.77," NUREG/CR-0674, Table XIV and Table XV (1979)
識別子	*PLEXIGLAS*

Table 3.16: ポリエチレンの原子個数密度

ポリエチレン、 $(CH_2)_n$	
下記文献の2.4.2項から密度を引用した。成分[wtx]は化学式から求めた。	
密度 [g/cm ³]	0.92
成分 [wt%]	H: 14.29 C: 85.71
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	H: 7.8550×10^{-2} C: 3.9535×10^{-2}
引用文献	長谷川正純、三島良樹 監修、“原子炉材料ハンドブック,” 日刊工業新聞社(1977)
識別子	*POLYETHYLENE*

Table 3.17: アスファルトの原子個数密度

アスファルト	
ストレートアスファルトとブローンアスファルトの二種類がある。この二つは各々、物理的・化学的性質の相違によって、さらに分類されている。そのために典型的な密度や組成を定めるのは難しいが、おおよそ次のような値をもつ。	
密度 [g/cm ³]	1.0
成分 [wt%]	C: 85 H: 10 S: 5
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	C: 4.2617×10^{-2} H: 5.9784×10^{-2} S: 9.3909×10^{-4}
引用文献	①日本化学会編, “化学便覧 改定2版 応用編,” p.549(1975) ② “放射性廃棄物のアスファルト固化処理アスファルト固化体の安全性評価試験,” 技術レポート N041-73-17, 動力炉・核燃料開発事業団
識別子	*ASPHALT*

Table 3.18: 普通コンクリートの原子個数密度

普通コンクリート		
コンクリートの組成は文献によって異なる。ここでは、下記文献のデータ集表2.6 (p.16) から引用した。		
密度 [g/cm ³] : 2.302		
成分 [g/cm ³] :	H : 0.023 O : 1.220 C : 0.0023 Na : 0.0368 Mg : 0.005	Al : 0.078 Si : 0.775 K : 0.0298 Ca : 0.100 Fe : 0.032
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	H : 1.3742×10^{-2} O : 4.5919×10^{-2} C : 1.1532×10^{-4} Na : 9.6395×10^{-4} Mg : 1.2388×10^{-4}	Al : 1.7409×10^{-3} Si : 1.6617×10^{-2} K : 4.6052×10^{-4} Ca : 1.5025×10^{-3} Fe : 3.4492×10^{-4}
引用文献 : 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課 編、“臨界安全ハンドブック,” につかん書房(1988)		
識別子 : *CONCRETE*		

Table 3.19: 12.9 % 硼素入りラッシヒリングの原子個数密度

12.9%ホウ素入りラッシヒリング、 B_2O_3 含有率12.9wt%	
ホウ素入りラッシヒリングは珪酸ガラス製で、B_2O_3を10%前後含有している。珪酸ガラスはSiO_2, B_2O_3, Na_2O, Al_2O_3等を含み、用途に応じて様々な組成の製品が作られている。そのために、ホウ素入りラッシヒリングに使用される珪酸ガラスを特定できない。ここでは、下記文献の表-15.2.1から引用した Pyrex 8rad #7740 のデータを一例として示す。	
密度 [g/cm ³]	2.23
成分 [wt%]	SiO_2 : 80.5 B_2O_3 : 12.9 Na_2O : 3.8 K_2O : 0.4 Al_2O_3 : 2.2
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	Si : 1.7922×10^{-2} ^{10}B : 9.8539×10^{-4} ^{11}B : 3.9911×10^{-3} Na : 1.6467×10^{-3} K : 1.1405×10^{-4} Al : 5.7952×10^{-4} O : 4.5198×10^{-2}
引用文献	“蒸気ハンドブック,” N841-78-44
識別子	413%B-GLASS*

Table 3.20: 10 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度

10%ホウ素入りポリエチレン、 $(CH_2)_n-B_2O_3$ 、 B_2O_3 含有率10wt%	
ホウ素は B_2O_3 のかたちで添加される。密度及び成分は、下記メーカーの製品名ニューライト-BFの成分表から引用した。	
密度 [g/cm ³]	0.983
成分 [wt%]	B : 3.10 H : 12.86 O : 6.90 C : 85.71
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	H : 7.5530×10^{-2} O : 2.5529×10^{-2} C : 3.8018×10^{-2} ¹⁰ B : 3.3607×10^{-4} ¹¹ B : 1.3612×10^{-3}
引用文献	作新工業株式会社
識別子	*10%B-POLYETHYLENE*

Table 3.21: 20 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度

20%ホウ素入りポリエチレン、 $(CH_2)_n-B_2O_3$ 、 B_2O_3 含有率20wt%	
ホウ素は B_2O_3 のかたちで添加される。密度及び成分は、下記メーカーの製品名ニューライト-BFの成分表から引用した。	
密度 $[g/cm^3]$:	1.036
成分 [wt%]	B : 6.20 H : 11.43 O : 13.80 C : 68.57
原子個数密度 $[atoms/barn \cdot cm]$	H : 7.0751×10^{-2} O : 5.3811×10^{-2} C : 3.5617×10^{-2} ^{10}B : 7.0836×10^{-4} ^{11}B : 2.8892×10^{-3}
引用文献 :	作新工業株式会社
識別子 :	*20%B-POLYETHYLENE*

Table 3.22: 30 % 硼素入りポリエチレンの原子個数密度

30%ホウ素入りポリエチレン、 $(CH_2)_n-B_2O_3$ 、 B_2O_3 含有率30wt%	
ホウ素は B_2O_3 のかたちで添加される。密度及び成分は、下記メーカーの製品名ニューライト・Bの成分表から引用した。	
密度 $[g/cm^3]$:	1.095
成分 [wt%]	B : 9.30 H : 10.00 O : 20.70 C : 60.00
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	H : 6.4525×10^{-2} O : 8.5313×10^{-3} C : 3.2940×10^{-2} ^{10}B : 1.1231×10^{-3} ^{11}B : 4.5468×10^{-3}
引用文献 :	作新工業株式会社資料
識別子 :	*30%B-POLYETHYLENE*

Table 3.23: 0.26 % 硼素入りコンクリートの原子個数密度

0.26%ホウ素入りコンクリート、 B_2O_3 含有率0.26wt%		
ホウ素入りコンクリートは、ホウ素を含有する鉱石等をコンクリートに混入してつくられる。代表的なホウ素含有鉱石としてベイズァイト、ボロカルサイト、コルマサイト、ダンブリス石等が挙げられる。これらの主成分はSiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, 及びB_2O_3である。鉱石中のホウ素含有量は、同じ鉱石であっても産地によって異なるうえに砂、砂利、磁鉄鉱等も混在しているので、ホウ素入りコンクリートのホウ素濃度とコンクリート密度は一定でない。ここでは、ベイズァイトを混入したコンクリートの密度と組成の一例を下記文献から引用した。		
密度 [g/cm^3] : 3.577		
成分 [wt%]	H : 0.4 B : 0.1 C : 0.2 O : 33.8 Mg : 0.7 Al : 1.0	Si : 8.3 S : 0.4 Ca : 7.3 Mn : 0.1 Fe : 43.7
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	H : 8.5488×10^{-3} ^{10}B : 3.9488×10^{-5} ^{11}B : 1.5978×10^{-4} C : 3.5868×10^{-4} O : 4.5506×10^{-2} Mg : 6.2039×10^{-4} Al : 7.9836×10^{-4}	Si : 6.3659×10^{-3} S : 2.6873×10^{-4} Ca : 3.9234×10^{-3} Mn : 3.9209×10^{-5} Fe : 1.6849×10^{-2}
引用文献 : “セメント技術年報,” Vol.11(1957)		
識別子 : #0.26XB-CONCRETE#		

Table 3.24: 2.6 % 硼素入りコンクリートの原子個数密度

2.6%ホウ素入りコンクリート、B ₂ O ₃ 含有率2.6wt%		
ホウ素入りコンクリートは、ホウ素を含有する鉱石等をコンクリートに混入してつくられる。代表的なホウ素含有鉱石としてベイズァイト、ボロカルサイト、コルマナイト、ダンブリ石等が挙げられる。これらの主成分はSiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, 及びB₂O₃である。鉱石中のホウ素含有量は、同じ鉱石であっても産地によって異なるうえに砂、砂利、磁鉄鉱等も混在しているので、ホウ素入りコンクリートのホウ素濃度とコンクリート密度は一定でない。ここでは、ベイズァイトを混入したコンクリートの密度と組成の一例を下記文献から引用した。		
密度 [g/cm ³] : 3.489		
成分 [wt%]	H : 0.4 B : 0.8 C : 1.6 O : 33.4 Mg : 1.4 Al : 0.8	Si : 3.5 S : 0.5 Ca : 13.0 Mn : 0.3 Fe : 39.4
原子個数密度 [atoms/barn · cm]	H : 8.3385×10^{-3} ¹⁰ B : 3.0781×10^{-4} ¹¹ B : 1.2468×10^{-3} C : 2.7989×10^{-3} O : 4.3861×10^{-2} Mg : 1.2103×10^{-3} Al : 6.2297×10^{-4}	Si : 2.6184×10^{-3} S : 3.2765×10^{-4} Ca : 6.8151×10^{-3} Mn : 1.1473×10^{-4} Fe : 1.4871×10^{-2}
引用文献 : “セメント技術年報,” Vol.11(1957)		
識別子 : #2.6%B-CONCRETE*		

Table 3.25: 1.0 % 硼素入りステンレス鋼の原子個数密度

1.0%ホウ素入りステンレス鋼、B含有率1.0wt%		
標記材料の密度と組成の一例を、下記文献から引用して示す。		
密度 [g/cm ³] : 7.84		
成分 [wt%]	Fe : 64.1 B : 1.0 Mn : 1.65 Si : 0.64 Cr : 18.3 Ni : 14.1	C : 0.03 P : 0.01 S : 0.01 Mo : 0.11 Cu : 0.05
原子個数密度 [atoms/barn·cm]	Fe : 5.4169×10^{-2} ¹⁰ B : 8.6461×10^{-4} ¹¹ B : 3.5021×10^{-3} Mn : 1.4180×10^{-3} Si : 1.0759×10^{-3} Cr : 1.6617×10^{-2} Ni : 1.1340×10^{-2}	C : 1.1792×10^{-4} P : 1.5243×10^{-5} S : 1.4725×10^{-5} Mo : 5.4137×10^{-5} Cu : 3.7149×10^{-5}
引用文献 : “Pu溶液系の臨界安全解析手法の検証と応用(1),” 技術レポート N841-78-44, 動力炉・核燃料開発事業団(1978)		
識別子 : #1%B-SUS#		

Table 3.26: ボラルの原子個数密度

ボラル、B含有率15.5wt%	
ボラルは、炭化ホウ素(B_4C)とアルミニウムの粉末を混合・焼結し、その両側をアルミニウム板で挟んだ板状の製品である。市販品の板厚は1/4及び1/8インチである。標記材料の密度と組成の一例を、下記文献から引用して示す。	
密度 $[g/cm^3]$:	2.53
成分 [wt%]	Al : 80.0 B : 15.5 C : 4.5
原子個数密度 [atoms/barn-cm]	Al : 4.5174×10^{-2} ^{10}B : 4.3247×10^{-3} ^{11}B : 1.7517×10^{-2} C : 5.7081×10^{-3}
引用文献 :	長谷川正義、三島良績 監修、“原子炉材料ハンドブック,” 日刊工業新聞社(1977)
識別子 :	#BORAL*

Table 3.27: 炭化硼素の原子個数密度

炭化ホウ素	
市販品にはFe、B ₂ O ₃ 等の不純物が含まれているが、その量は微量である。密度は下記文献の第IV巻の表B.1から引用した。ホウ素には、 ¹⁰ Bを濃縮したものと天然同位体組成のものがあるが、以下に示すホウ素の同位体組成は後者である。	
密度 [g/cm ³]	2.51
成分 [wt%]	B: 78.26 C: 21.74
原子個数密度 [atoms/barn・cm]	¹⁰ B: 2.1663×10^{-2} ¹¹ B: 8.7746×10^{-2} C: 2.7359×10^{-2}
引用文献	： 長谷川正義、三島良樹 監修、“原子炉材料ハンドブック、” 日刊工業新聞社(1977)
識別子	： *B4C*

4 MAIL3.1 の実行にあたっての諸注意事項

1. 領域あたりの核種数と記憶場所の数の関係

必要となる記憶場所の数は、参照する MGCL ライブラリーのエネルギー群数と、最も多い核種で構成される領域の核種数で決まり、次の式で与えられる。

$$(\text{記憶場所の数}) = (\text{エネルギー群数}) \times (\text{最大核種数}) \times 130 \times 2 \quad (4.1)$$

MAIL3.1 は、Table 4.1 に示すように主プログラムの配列 A で記憶場所の数を指定している。表にあるように配列 A の寸法は 1400000 なので、137 群 MGCL を参照する場合には最大で 1 領域あたり 39 核種、26 群 MGCL の場合には 207 核種まで許される。もし 1 領域あたりこれ以上の数の核種がある場合には、先の式にしたがって記憶場所の数を求め、配列 A の寸法を変更しなければならない。

Table 4.1: MAIL3.1 主プログラム

```

C
C PROGRAM MAIL
C ARRAY SIZE = GROUP X NUCLIDE X 130 X 2
C
      DIMENSION A(1400000)
      CALL DTLIST
      CALL ARRAY(A,A,1400000)
      STOP
      END

```

2. f-table の温度内挿

MAIL3.1 は、機番 11 及び 12 に割当てられた核種温度 (T_1 , T_2) が異なる MGCL ライブラリーの各 f-table を温度内挿して、任意の温度 T ($T_1 < T < T_2$) の実効断面積を計算できる。但し SMF ライブラリーの温度内挿はできないので、温度 T_1 及び T_2 の SMF ライブラリーのうち T に直近の核種温度のライブラリーを機番 31 に割当てることになる。

3. h-table

h-table は、現在、137 群 20℃の MGCL-J3 にのみ用意されている。MGCL-B-IV には用意されていない。

4. カード 4 作成上の注意

1 領域中に同じ核種識別子を 2 回以上定義することはできない。

5. MGCL-J3.2 ライブラリーについて

MGCL-J3.2 ライブラリーの概要は第 10 章で述べる。近い将来このライブラリーが公開されることに備えて、MAIL3.1 はこのライブラリーも読み込めるように設計してある。本文の第 3 章の入力ガイドのなかには MGCL-J3.2 に関する記述は一切ないが、“MGCL-J3”という表現を“MGCL-J3.2”と読み変えればよい。（たとえば カード 1 の最後の変数）

4.1 Shell Script と ファイルの論理機番

Sun FORTRAN を用いてコンパイルとリンクをされた MAIL3.1 で断面積セットを作成する場合の Shell Script の一例を Table 4.2 に示す。MAIL3.1 の実行に必要な論理機番の一覧を Table 4.3 に示す。Sun FORTRAN においては、open 文を使用しないで file にアクセスを行うと、例えば機番番号 11 のファイルなら `fort.11` のような `fort.unit-number` の形式の名前の file をアクセスすることを利用して、本来アクセスされる file に symbolic link を張っている。他の処理系においては、デフォルトで open されるファイル名が異なる場合があるので注意を要する。たとえば、HP の場合には、`ftn11` のような `ftnunit-number` の形式の名前を有する file にデフォルトでアクセスされる。そのような場合には、symbolic link 名を変更することで対処する。

Table 4.2: MAIL を実行する Shell Script

```
#!/bin/csh
#
# This is a shell script of jacs (MAIL3.1 only)
#
#
# environment value
#
# JACSINP is an absolute path of input file.
# MGCL is an absolute path of MGCL.
# MAIL is an absolute path of MAIL3.1(include the executable)
# HTABLE is an absolute path of H-TABLE
# example of execution.
# ./jacs mail.inp > out.file
#
# You should prepare the $JACSINP/mail.inp.
#

setenv JACSINP /home4/kenya/jacs/input
setenv MGCL /home5/codes/jaerilib/mgcl
setenv MAIL /home5/codes/jaerilib/mail3.1/mail31
setenv HTABLE /home5/codes/jaerilib/mgcl/j30htbl

ln -s $MGCL/j32g137/mgcl293.g137.j32 fort.11
ln -s $MGCL/j32g137/smf293.g137.j32 fort.31
ln -s $HTABLE/htable.data fort.21

$MAIL < $1
```

Table 4.3: MAIL3.1 が使用するファイルの理論機番と機能

機番	機能
2	実行マイクロ断面積 (作業用ファイル)
3	KENO 形式及 ¹⁾ び MULTI-KENO-3.0 形式の断面積セット
4	ANISN 形式の断面積セット
5	標準入力 (入力データ)
6	標準出力
11	MGCL ライブラリ ²⁾
12	MGCL ライブラリ ²⁾
21	h-table ³⁾
31	SMF ライブラリ ⁴⁾
50	AMPX Working Library 形式ファイル

1) SIMCRI, MULTI-KENO, MULTI-KENO-2, KENO IV 用。

2) 計算体系の温度に等しい MGCL ライブラリを参照する場合には、そのライブラリを機番 11 に割り当て、機番 12 は使用しない。計算体系に等しい温度の MGCL ライブラリが無い場合には、その温度を挟む 2 種類の温度のライブラリを機番 11 と 12 に割り当てる。温度の高低と機番 11 と 12 の関係は任意である。

3) 20 ℃ の MGCL-J3 を参照し、さらに、カード 1 の IHFIT = 1 の場合にのみ必要。

4) 計算体系の温度にもっとも近い温度の SMF ライブラリを割り当てる。SMF の温度内挿機能は無い。

4.2 入力データ例

1. 原子個数密度計算ルーチンを利用する例【1】

● $\text{U}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$: 第 1 領域、第 2 領域● U_3O_8 粉末- H_2O : 第 3 領域

● 硝酸ウラニル水溶液 : 第 4 領域

● UO_2F_2 水溶液 : 第 5 領域、第 6 領域

6 種類の均質ウラン系燃料の実効微視的断面積を計算するための入力データを Table 4.4 に示す。いずれの燃料も、MAIL3.1 が内蔵する原子個数密度計算ルーチンを利用しているので、燃料の原子個数密度を入力する必要はなく、ウラン濃縮度、ウラン濃度、H/U 原子個数比を入力すればよい。

Table 4.4: 入力サンプル-1

6	137	0	0	3	0	1	3
U3O8						9999999	
	2.0		1.5		-1.0		
U3O8						9999999	
	2.0		-1.0		6.5140		
U3O8						9999999	
	2.0		1.5		3.0		
(U+PU)NO3						9999999	
	700.0		0.0		0.0	20	
	2.0		98.0				
UO2F2						9999999	
	2.0		1.5		-1.0		
UO2F2						9999999	
	2.0		-1.0		13.064		

2. 原子個数密度計算ルーチンを利用する例【2】

● Pu-H₂O：第1領域、第2領域● Pu 粉末-H₂O：第3領域● PuO₂-H₂O：第4領域、第5領域、第6領域● PuO₂ 粉末-H₂O：第7領域

均質プルトニウム系燃料の微視的断面積を計算するための入力データを表 Table 4.5 に示す。1. と同様に、各物質の基本的な組成のみを入力で指定すればよい。

Table 4.5: 入力サンプル-2

	7	137	0	0	3	0	1	3		
PU							9999999			
	1.5		-1.0		0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0
PU							9999999			
	-1.0	16.344			0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0
PU							9999999			
	1.5		3.0		0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0
PUO2							9999999			
	0.5		-1.0		0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0
PUO2							9999999			
	0.56685		-1.0		0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 100 0
PUO2							9999999			
	-1.0	50.427			0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0
PUO2							9999999			
	0.5		10.0		0.0		80.0	10.0	10.0	0.0 0 0

3. 原子個数密度計算ルーチンを利用する例【3】

- 硝酸プルトリウム水溶液：第1領域
- 硝酸(ウラン+プルトリウム)水溶液：第2領域

2種類の均質硝酸水溶液燃料の微視的断面積を計算するための入力データを Table 4.6 に示す。1.と同様に、各物質の基本的な組成のみを入力で指定すればよい。

Table 4.6: 入力サンプル -3

	2	137	0	0	3	0	1	3												
* (U+PU) N03*								9999999												
	0.0		700.0			0.0	20													
	0.0		100.0			0.0		0.0		0.0										
* (U+PU) N03*								9999999												
	100.0		400.0			0.0	20													
	0.711		99.289			0.0		100.0		0.0		0.0		0.0				0.0		

4. 原子個数密度計算ルーチンを利用する例【4】

● MOX 粉末-H₂O：第1領域、第2領域、第3領域、第4領域

4種類のMOX燃料の微視的断面積を計算するための入力データをTable 4.7に示す。1.と同様に、各物質の基本的な組成のみを入力で指定すればよい。

Table 4.7: 入力サンプル-4

4	137	0	0	1	3	
MOX				9999999		
	0.5	-1.0	20.0	0.711	, PUO2/(UO2+PUO2)=20WT%	
	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100 0
MOX				9999999		
	-1.0	57.140	20.0	0.711	, PUO2/(UO2+PUO2)=20WT%	
	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0 0
MOX				9999999		
	0.5	3.0	20.0	0.711	, PUO2/(UO2+PUO2)=20WT%	
	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0 0
MOX				9999999		
	0.5	0.0	20.0	0.711	, PUO2/(UO2+PUO2)=20WT%	
	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0 0

5. 原子個数密度計算ルーチンを利用する例【5】

- UO_2 ペレット (無限長燃料棒の無限正方格子配列) : 第1領域
- MOX ペレット (無限長燃料棒の無限正方格子配列) : 第2領域
- MOX ペレット (無限長燃料棒の無限正方格子配列) : 第3領域

UO_2 ペレット及び MOX ペレットの KENO 形式の巨視的断面積を計算するための入力データを Table 4.8 に示す。1. と同様に、各物質の基本的な組成のみを入力で指定すればよい。第1領域、第2領域、第3領域のいずれも、最後のカードはダンコフ補正係数を計算するためのデータ (カード 7-2) である。表中の第3領域については原子個数密度を直接入力している。

Table 4.8: 入力サンプル-5

3	137	2	1	3	0	1	3		
UO2-PELLET									
0	20	3				9999999			
-10.4		2.04							
0.0		2.596		0.0		97.404			
1.956		0.625		0.701		0.085	1.487		
MOX-PELLET									
0	20	3				9999999			
3.01		-6.056		2.07					
0.0056		0.711		0.0		99.2834			
0.5		68.18		22.02		7.26	2.04	530.0	
1.825		0.5325		0.6025		0.265	1.487		
MOX-PELLET									
10	20	3				9999999			
3080160		3922340		3922350		3922380	3942380	3942390	
3942400		3942410		3942420		3952410			
2.7837E-2	7.4298E-7	9.3929E-5		1.2951E-2		2.0245E-6	2.7490E-4		
8.8413E-5	2.9029E-5	8.1230E-6		2.1203E-7					
1.825		0.5325		0.6025		0.265	1.487		

6. 汎用材料の原子個数密度を利用する例【6】

8 種類の汎用材料の微視的断面積を計算するための入力データを Table 4.9 に示す。

Table 4.9: 入力サンプル -6

8	137	2	1	3	0	1	3
2.6%B-CONCRETE							
0.26%B-CONCRETE							
13%B-GLASS							
1%B-SUS							
BORAL							
B4C							
CADMIUM							
HAFNIUM							

4.3 出力例

MAIL3.1 と KENO IV を連続して実行した場合の出力例を以下に示す。この計算は、使用済燃料の無限増倍率を求めるものである。

INPUT DATA IMAGE LIST

CARD	1	2	3	4	5	6	7	8
SEQ.	5	0	5	0	5	0	5	0
1:	4	137	2	0	1	0	1	3
2:	UO2 PELLET(33GWD/T+17YCOOLED) PITCH=1.6838(CM) BURNUP.FORT(MAIL3315)							
3:	22	20	3	9999999				
4:	3922340	3922350	3922360	3922380	3932370	3942380		
5:	3942390	3942400	3942410	3942420	3952410	3952430		
6:	3430990	3451030	3541310	3551330	3601430	3621490		
7:	3621510	3621520	3631530	3641550				
8:	4.548E-06	1.854E-04	9.175E-05	2.168E-02	1.038E-05	2.986E-06		
9:	1.151E-04	5.268E-05	1.411E-05	1.018E-05	1.408E-05	1.913E-06		
10:	5.704E-05	3.312E-05	2.414E-05	6.207E-05	3.986E-05	1.420E-07		
11:	5.408E-07	6.127E-06	5.092E-06	5.649E-07				
12:	1.6838	0.4645	0.5035	0.2753	1.487			
13:	UO2 PELLET(33GWD/T+17YCOOLED) PITCH=1.6838(CM) BURNUP.FORT(MAIL3315)							
14:	22	20	3	9999999				
15:	3922340	3922350	3922360	3922380	3932370	3942380		
16:	3942390	3942400	3942410	3942420	3952410	3952430		
17:	3430990	3451030	3541310	3551330	3601430	3621490		
18:	3621510	3621520	3631530	3641550				
19:	5.600E-06	4.211E-04	5.072E-05	2.200E-02	3.350E-06	4.427E-07		
20:	9.350E-05	2.289E-05	5.004E-06	1.348E-06	5.068E-06	9.947E-08		
21:	2.779E-05	1.663E-05	1.304E-05	3.084E-05	2.329E-05	1.028E-07		
22:	4.122E-07	3.091E-06	1.725E-06	1.480E-07				
23:	1.6838	0.4645	0.5035	0.2753	1.487			
24:	*ZIRCALOY-4*							
25:	*H2O*							
26:	20(DEG)							

***** PROGRAM MAIL *****

NUMBER OF REGIONS --- 4

NUMBER OF ENERGY GROUPS --- 137 (26/137)
 CALC. OPTION --- 2 (0/1/2/3/4/5/6 : MICRO/ANISN/KENO,MULTI-KENO/ANISN&KENO/MULTI-KENO-3.0/AMPI/ H.R/PRINT)
 MACRO X-SEC PRINT OPTION --- 0 (0/1 : NO /PRINT)
 REQUIRED PL ORDER --- 1 (1/3 : P1 / P3)
 TEMPERATURE INTERPOLATION --- 0 (0/1 : NO /YES)
 MODERATOR MASS EFFECT --- 1 (0/1 : NO / YES)
 MGCL LIBRARY TO BE USED --- 3 (0/3/4 : MGCL-B-4/MGCL-J3/MGCL-B-4)

* REGION -1- UO2 PELLET(33GWD/T+17YCOOLED) PITCH=1.6838(CM) BURMUP.FORT(MAIL3315)

USED AREA ---	1154825	WITHIN ---	1400000
	NUCLIDE		NUMBER DENSITY (A/BARN-CM)
	3922340		4.5480E-06
	3922350		1.8540E-04
	3922360		9.1750E-05
	3922380		2.1680E-02
	3932370		1.0380E-06
	3942380		2.9860E-06
	3942390		1.1510E-04
	3942400		6.2680E-05
	3942410		1.4110E-05
	3942420		1.0180E-05
	3952410		1.4080E-05
	3952430		1.9130E-06
	3430990		5.7040E-05
	3461030		3.3120E-05
	3541310		2.4140E-05
	3551330		6.2070E-05
	3601430		3.9860E-05
	3621490		1.4200E-07

3621510	5.4080E-07
3621520	6.1270E-06
3631530	5.0920E-06
3641550	5.6490E-07

SQUARE OR HEXAGONAL ROD CELL INFORMATION

LATTICE PITCH	:	1.6838E+00(CM)
PELLET RADIUS	:	4.6450E-01(CM)
CLAD OUTER RADIUS	:	5.0350E-01(CM)
CLAD MACRO X-SEC	:	2.7530E-01(CM**-1)
MODERATOR MACRO X-SEC	:	1.4870E+00(CM**-1)

NMAX	---	22
IREF	---	20
IPRINT	---	0
NSTOP	---	30
EPSL	---	1.0000E-04

FISSION SPECTRUM --- (9999999, OLD FISSION)

BATCH	C	AVGC	AVGX	NHITS	
1	1.05376E-01	1.05376E-01	0.00000E+00	3.67465E+01	4890
2	1.04379E-01	1.04878E-01	7.06533E-04	3.82222E+01	4874
3	1.06254E-01	1.05336E-01	9.38633E-04	3.47424E+01	4884
4	1.06447E-01	1.05614E-01	9.46537E-04	4.22296E+01	4875
5	1.03976E-01	1.05286E-01	1.09863E-03	4.11639E+01	4868

BELL FACTOR	:	1.1795E+00
DANCOFF FACTOR	:	1.0529E-01

* REGION -2- UD2 PELLET(33GWD/T+17YCOOLED) PITCH=1.6838(CM) BURNUP.FDRT(MAIL3315)

USED AREA	---	1154825	WITHIN	---	1400000
		NUCLIDE			NUMBER DENSITY (A/BARN-CM)
		3922340			5.6000E-06
		3922350			4.2110E-04
		3922360			5.0720E-05

3922380	2.2000E-02
3932370	3.3500E-06
3942380	4.4270E-07
3942390	9.3500E-05
3942400	2.2890E-05
3942410	5.0040E-06
3942420	1.3480E-06
3952410	5.0680E-06
3952430	9.9470E-08
3430990	2.7790E-05
3451030	1.6630E-05
3541310	1.3040E-05
3551330	3.0840E-06
3601430	2.3290E-05
3621490	1.0280E-07
3621510	4.1220E-07
3621520	3.0910E-06
3631530	1.7250E-06
3641550	1.4800E-07

SQUARE OR HEXAGONAL ROD CELL INFORMATION

LATTICE PITCH	:	1.6838E+00(CM)
PELLET RADIUS	:	4.6450E-01(CM)
CLAD OUTER RADIUS	:	5.0350E-01(CM)
CLAD MACRO X-SEC	:	2.7530E-01(CM**1)
MODERATOR MACRO X-SEC	:	1.4870E+00(CM**1)

NMAX	---	22
IREF	---	20
IPRINT	---	0
NSTOP	---	30
EPSL	---	1.0000E-04

FISSION SPECTRUM --- (99999999, OLD FISSIOM)

BATCH	C	AVGC	AVGI	WHITS	
1	1.07763E-01	1.07763E-01	0.00000E+00	3.83351E+01	4880
2	1.03423E-01	1.06693E-01	3.06819E-03	3.99534E+01	4866

3	1.08186E-01	1.06458E-01	2.63655E-03	3.62889E+01	4883
4	1.05623E-01	1.06224E-01	2.20256E-03	4.35130E+01	4861
5	1.05067E-01	1.05993E-01	1.97612E-03	3.58601E+01	4887

BELL FACTOR : 1.1794E+00
DANCOFF FACTOR : 1.0599E-01

* REGION -3- *ZIRCALOY-4*

USED AREA ---	157363	WITHIN ---	1400000
	NUCLIDE		NUMBER DENSITY (A/BARN-CM)
	3400000		4.2982E-02
	3240000		7.5891E-05
	3260000		1.4838E-04
	NMAX	---	3
	IREG	---	0
	IPRINT	---	0
	NSTOP	---	30
	EPSL	---	1.0000E-04

FISSION SPECTRUM --- NO

* REGION -4- *H2O*

USED AREA ---	104905	WITHIN ---	1400000
	NUCLIDE		NUMBER DENSITY (A/BARN-CM)
	3010010		6.6734E-02
	3080160		3.3367E-02
	NMAX	---	2
	IREG	---	0
	IPRINT	---	0
	NSTOP	---	30
	EPSL	---	1.0000E-04

FISSION SPECTRUM --- NO

USED AREA --- 164702 WITHIN --- 1400000

**** REGION - 3 HAS NO FISSIONABLE NUCLIDE

**** REGION - 4 HAS NO FISSIONABLE NUCLIDE

***** PROGRAM MAIL SUCCESSFULLY ENDED. *****

KK	KK	EEEEEEEEEEEE	NN	NN	0000000000
KK	KK	EEEEEEEEEEEE	NNN	NN	000000000000
KK	KK	EE	NNNN	NN	00 00
KK	KK	EE	NN NN	NN	00 00
KK	KK	EE	NN NN	NN	00 00
KKKKKKKK		EEEEEEEE	NN NN	NN	00 00
KKKKKKKK		EEEEEEEE	NN NN	NN	00 00
KK	KK	EE	NN NN	NN	00 00
KK	KK	EE	NN NN	NN	00 00
KK	KK	EE	NN NN	NN	00 00
KK	KK	EEEEEEEEEEEE	NN NN	NN	000000000000
KK	KK	EEEEEEEEEEEE	NN NN	NN	0000000000

JAERI - Data/Code 98-004

9999999999	7777777777	//	11	0000000	//	2222222222	7777777777
9999999999	7777777777	//	111	000000000	//	2222222222	7777777777
99 99	77 77	//	1111	00 00	//	22 22	77 77
99 99	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
99 99	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
9999999999	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
9999999999	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
99 99	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
99 99	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77
99 99	77 77	//	11	00 00	//	22 22	77 77

```

9999999999999999 77 // 11111111 000000000 // 2222222222222 77
9999999999999999 77 // 11111111 0000000 // 2222222222222 77

      11      11      0000000      11      0000000      555555555555
      111      111      000000000      111      000000000      555555555555
      1111      1111      00      00      1111      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      555555555556
      11      11      00      00      11      00      00      555555555555
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11      11      00      00      11      00      00      55
      11111111      11111111      000000000      11111111      000000000      55555555555555
      11111111      11111111      0000000      11111111      0000000      555555555555

```

BURNUP CREDIT / KENO-IV / DISTRIBUTION / BURNUP.FORT(KW15)

NUMBER OF GENERATIONS	110	START TYPE	0
NUMBER PER GENERATION	600	GENERATIONS BETWEEN CHECKPOINTS	0
NUMBER OF GENERATIONS TO BE SKIPPED	10	LIST INPUT X-SECTIONS READ FROM TAPE	YES
NUMBER OF ENERGY GROUPS	137	LIST 1-D MIXTURE X SECTIONS	NO
MAX. NUMBER OF ENERGY TRANSFERS	137	LIST 2-D MIXTURE X-SECTIONS	NO
NUMBER OF INPUT NUCLIDES	4	LIST FISSION AND ABS. BY REGION	YES
NUMBER OF MIXTURES	2	USE X-SECTIONS FROM PREVIOUS CASE	NO
NUMBER OF MIXING TABLE ENTRIES	4	USE GEOMETRY FROM PREVIOUS CASE	NO

NUMBER OF GEOMETRY CARDS	2	USE VELOCITIES FROM PREVIOUS CASE	NO
NUMBER OF BOX TYPES	1	COMPUTE MATRIX K-EFFECTIVE BY UNIT	NO
NUMBER OF UNITS IN X DIRECTION	1	COMPUTE MATRIX K-EFFECTIVE BY BOX TYPE	NO
NUMBER OF UNITS IN Y DIRECTION	1	LIST FISS PROB MATRIX BY UNIT	NO
NUMBER OF UNITS IN Z DIRECTION	1	ADJOINT CALCULATION	NO
NUMBER OF NUCLIDES READ FROM TAPE	4	USE EXPONENTIAL TRANSFORM	NO
ALBEDO TYPE	1	CALCULATE FLUX	YES
SEARCH TYPE	0	CALCULATE FISSION DENSITIES	YES

THIS PROBLEM WILL BE RUN WITH SPECULARLY REFLECTING BOUNDARY CONDITION

THE ALBEDOS ARE +X = 1.00000E+00 -X = 1.00000E+00 +Y = 1.00000E+00 -Y = 1.00000E+00 +Z = 1.00000E+00 -Z = 1.00000E+00

MAXIMUM TIME = 99.9000 MINUTES

STORAGE LOCATIONS REQUIRED FOR THIS JOB = 114976
REMAINING AVAILABLE LOCATIONS= 2685024

BURNUP CREDIT / KENO-IV / DISTRIBUTION / BURNUP.FORT(KN15)

MIXTURE	NUCLIDE	DENSITY
1	-1	2.39600E-01
1	4	7.60400E-01
2	-2	2.39600E-01
2	4	7.60400E-01

NUCLIDE = 1 UO2 PELLET(33GWD/T+17VC00LED) PITCH=1.6838(CM) BURNUP.FORT(MAIL3315)

GP.	ABSORPTION	NU FISSION	TOTAL
1	2.7177E-02	1.2610E-01	1.1849E-01

2	2.4186E-02	1.0585E-01	1.2353E-01
3	2.2166E-02	9.1684E-02	1.2636E-01
4	2.2261E-02	8.7409E-02	1.2818E-01
5	2.2460E-02	8.4000E-02	1.3184E-01
6	2.2660E-02	8.1021E-02	1.3790E-01
7	2.2267E-02	7.6365E-02	1.4552E-01
8	1.7585E-02	6.8027E-02	1.5379E-01
9	1.2681E-02	4.0247E-02	1.6190E-01
10	1.2406E-02	3.7975E-02	1.6877E-01
11	1.2959E-02	3.8207E-02	1.7357E-01
12	1.3094E-02	3.7263E-02	1.7606E-01
13	1.2642E-02	3.4747E-02	1.7625E-01
14	1.2571E-02	3.3430E-02	1.7482E-01
15	1.2908E-02	3.3560E-02	1.7204E-01
16	1.3249E-02	3.3881E-02	1.6861E-01
17	1.3317E-02	3.3416E-02	1.6479E-01
18	1.2631E-02	3.0940E-02	1.6122E-01
19	1.0951E-02	2.5763E-02	1.5832E-01
20	7.8757E-03	1.6861E-02	1.5652E-01
21	3.8631E-03	5.3866E-03	1.5614E-01
22	3.7291E-03	3.6167E-03	1.6747E-01
23	3.7406E-03	2.6404E-03	1.6046E-01
24	3.6445E-03	2.1779E-03	1.6502E-01
25	3.3624E-03	1.6481E-03	1.7078E-01
26	3.2017E-03	1.4462E-03	1.7662E-01

途中省略

GENERATION	K-EFFECTIVE	ELAPSED TIME(MIN)	AVG. K-EFF	DEVIATION	MATRIX K-EFF
1	9.91496E-01	4.60000E-02	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	1.05400E+00	9.33167E-02	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	1.05754E+00	1.41150E-01	1.05754E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.05364E+00	1.89167E-01	1.05559E+00	1.98341E-03	0.00000E+00
5	1.03400E+00	2.35000E-01	1.04839E+00	7.28751E-03	0.00000E+00
6	1.06900E+00	2.81333E-01	1.05354E+00	7.28614E-03	0.00000E+00
7	1.05182E+00	3.27667E-01	1.05520E+00	5.88222E-03	0.00000E+00
8	1.05639E+00	3.73167E-01	1.05640E+00	4.80157E-03	0.00000E+00
9	1.07138E+00	4.18500E-01	1.05768E+00	4.65791E-03	0.00000E+00

10	1.10608E+00	4.64667E-01	1.06373E+00	7.27289E-03	0.00000E+00
11	1.07872E+00	5.11167E-01	1.06540E+00	6.62787E-03	0.00000E+00
12	1.06946E+00	5.56833E-01	1.06580E+00	5.94243E-03	0.00000E+00
13	1.09643E+00	6.04000E-01	1.06859E+00	6.05351E-03	0.00000E+00
14	1.12461E+00	6.51667E-01	1.07326E+00	7.23564E-03	0.00000E+00
15	1.09786E+00	6.97667E-01	1.07515E+00	6.91899E-03	0.00000E+00
16	1.09450E+00	7.43167E-01	1.07653E+00	6.55378E-03	0.00000E+00
17	1.11201E+00	7.89000E-01	1.07890E+00	6.54448E-03	0.00000E+00
18	1.10626E+00	8.34650E-01	1.08061E+00	6.35579E-03	0.00000E+00
19	1.10641E+00	8.79500E-01	1.08212E+00	6.16002E-03	0.00000E+00
20	1.13983E+00	9.24817E-01	1.08533E+00	6.63342E-03	0.00000E+00
21	1.14344E+00	9.70167E-01	1.08839E+00	6.98022E-03	0.00000E+00
22	1.16689E+00	1.01667E+00	1.09231E+00	7.69762E-03	0.00000E+00
23	1.14358E+00	1.06217E+00	1.09475E+00	7.71809E-03	0.00000E+00
24	1.19303E+00	1.11017E+00	1.09922E+00	8.60863E-03	0.00000E+00
25	1.17342E+00	1.15600E+00	1.10245E+00	8.83610E-03	0.00000E+00
26	1.17081E+00	1.20283E+00	1.10530E+00	8.92628E-03	0.00000E+00
27	1.16861E+00	1.24900E+00	1.10783E+00	8.92896E-03	0.00000E+00
28	1.13215E+00	1.29567E+00	1.10876E+00	8.62946E-03	0.00000E+00
29	1.17339E+00	1.34400E+00	1.11116E+00	8.64097E-03	0.00000E+00
30	1.14769E+00	1.39667E+00	1.11246E+00	8.42852E-03	0.00000E+00
31	1.17073E+00	1.44800E+00	1.11447E+00	8.37787E-03	0.00000E+00
32	1.14772E+00	1.49417E+00	1.11558E+00	8.16875E-03	0.00000E+00
33	1.15768E+00	1.53982E+00	1.11694E+00	8.01634E-03	0.00000E+00
34	1.16511E+00	1.58748E+00	1.11844E+00	7.90668E-03	0.00000E+00
35	1.14225E+00	1.63448E+00	1.11917E+00	7.69672E-03	0.00000E+00
36	1.15169E+00	1.68317E+00	1.12012E+00	7.52852E-03	0.00000E+00
37	1.19483E+00	1.73167E+00	1.12226E+00	7.61593E-03	0.00000E+00
38	1.16336E+00	1.77967E+00	1.12340E+00	7.48885E-03	0.00000E+00
39	1.12921E+00	1.82533E+00	1.12356E+00	7.28523E-03	0.00000E+00
40	1.16084E+00	1.87233E+00	1.12454E+00	7.15803E-03	0.00000E+00
41	1.14744E+00	1.91950E+00	1.12612E+00	6.99740E-03	0.00000E+00
42	1.16028E+00	1.96567E+00	1.12600E+00	6.87606E-03	0.00000E+00
43	1.13237E+00	2.01217E+00	1.12616E+00	6.70787E-03	0.00000E+00
44	1.14009E+00	2.05817E+00	1.12649E+00	6.55520E-03	0.00000E+00
45	1.15149E+00	2.10632E+00	1.12707E+00	6.42720E-03	0.00000E+00
46	1.13689E+00	2.15233E+00	1.12729E+00	6.28357E-03	0.00000E+00
47	1.16990E+00	2.19900E+00	1.12824E+00	6.21481E-03	0.00000E+00
48	1.15655E+00	2.24667E+00	1.12885E+00	6.10883E-03	0.00000E+00

49	1.13705E+00	2.29150E+00	1.12903E+00	5.98042E-03	0.00000E+00
50	1.14526E+00	2.33733E+00	1.12936E+00	5.86435E-03	0.00000E+00
51	1.15547E+00	2.38450E+00	1.12990E+00	5.76796E-03	0.00000E+00
52	1.16879E+00	2.43267E+00	1.13068E+00	5.70453E-03	0.00000E+00
53	1.15537E+00	2.47917E+00	1.13116E+00	5.61269E-03	0.00000E+00
54	1.15116E+00	2.52567E+00	1.13154E+00	5.51686E-03	0.00000E+00
55	1.13759E+00	2.57200E+00	1.13166E+00	5.41276E-03	0.00000E+00
56	1.19455E+00	2.61850E+00	1.13282E+00	5.43810E-03	0.00000E+00
57	1.20915E+00	2.66817E+00	1.13421E+00	5.51587E-03	0.00000E+00
58	1.15276E+00	2.71433E+00	1.13454E+00	5.42650E-03	0.00000E+00
59	1.15631E+00	2.76200E+00	1.13492E+00	5.34447E-03	0.00000E+00
60	1.14293E+00	2.80917E+00	1.13506E+00	5.25318E-03	0.00000E+00
61	1.18273E+00	2.85750E+00	1.13587E+00	5.22621E-03	0.00000E+00
62	1.16573E+00	2.90433E+00	1.13637E+00	5.16220E-03	0.00000E+00
63	1.14860E+00	2.94933E+00	1.13657E+00	5.08102E-03	0.00000E+00
64	1.15968E+00	2.99550E+00	1.13694E+00	5.01256E-03	0.00000E+00
65	1.15584E+00	3.04217E+00	1.13724E+00	4.94153E-03	0.00000E+00
66	1.16311E+00	3.08900E+00	1.13765E+00	4.88010E-03	0.00000E+00
67	1.15335E+00	3.13517E+00	1.13789E+00	4.81056E-03	0.00000E+00
68	1.16092E+00	3.18083E+00	1.13824E+00	4.75031E-03	0.00000E+00
69	1.17103E+00	3.22750E+00	1.13873E+00	4.70421E-03	0.00000E+00
70	1.16962E+00	3.27433E+00	1.13918E+00	4.65676E-03	0.00000E+00
71	1.17093E+00	3.32150E+00	1.13964E+00	4.61157E-03	0.00000E+00
72	1.17945E+00	3.37483E+00	1.14021E+00	4.58057E-03	0.00000E+00
73	1.16990E+00	3.42767E+00	1.14049E+00	4.52456E-03	0.00000E+00
74	1.17640E+00	3.47633E+00	1.14098E+00	4.48922E-03	0.00000E+00
75	1.13581E+00	3.52150E+00	1.14091E+00	4.42794E-03	0.00000E+00
76	1.16561E+00	3.56733E+00	1.14125E+00	4.38039E-03	0.00000E+00
77	1.16987E+00	3.61517E+00	1.14163E+00	4.33864E-03	0.00000E+00
78	1.17337E+00	3.66133E+00	1.14205E+00	4.30131E-03	0.00000E+00
79	1.17776E+00	3.70767E+00	1.14251E+00	4.27053E-03	0.00000E+00
80	1.16862E+00	3.75533E+00	1.14284E+00	4.22864E-03	0.00000E+00
81	1.17304E+00	3.80267E+00	1.14323E+00	4.19198E-03	0.00000E+00
82	1.18278E+00	3.84983E+00	1.14372E+00	4.16862E-03	0.00000E+00
83	1.16293E+00	3.89683E+00	1.14396E+00	4.12374E-03	0.00000E+00
84	1.17748E+00	3.94317E+00	1.14437E+00	4.09353E-03	0.00000E+00
85	1.16959E+00	3.98983E+00	1.14467E+00	4.05579E-03	0.00000E+00
86	1.18466E+00	4.03750E+00	1.14515E+00	4.03538E-03	0.00000E+00
87	1.16859E+00	4.08333E+00	1.14542E+00	3.99693E-03	0.00000E+00

88	1.15937E+00	4.13200E+00	1.14558E+00	3.95389E-03	0.00000E+00
89	1.17379E+00	4.18000E+00	1.14591E+00	3.92130E-03	0.00000E+00
90	1.17170E+00	4.22650E+00	1.14620E+00	3.88779E-03	0.00000E+00
91	1.16253E+00	4.27183E+00	1.14639E+00	3.84825E-03	0.00000E+00
92	1.13258E+00	4.31717E+00	1.14623E+00	3.80850E-03	0.00000E+00
93	1.14391E+00	4.36300E+00	1.14621E+00	3.76624E-03	0.00000E+00
94	1.17069E+00	4.40948E+00	1.14647E+00	3.73481E-03	0.00000E+00
95	1.14983E+00	4.45650E+00	1.14651E+00	3.69469E-03	0.00000E+00
96	1.16617E+00	4.50133E+00	1.14672E+00	3.66115E-03	0.00000E+00
97	1.18155E+00	4.54733E+00	1.14708E+00	3.64110E-03	0.00000E+00
98	1.16441E+00	4.59382E+00	1.14726E+00	3.60748E-03	0.00000E+00
99	1.15828E+00	4.64000E+00	1.14738E+00	3.57164E-03	0.00000E+00
100	1.15246E+00	4.68483E+00	1.14743E+00	3.53585E-03	0.00000E+00
101	1.15959E+00	4.73117E+00	1.14755E+00	3.50182E-03	0.00000E+00
102	1.17527E+00	4.77750E+00	1.14783E+00	3.47752E-03	0.00000E+00
103	1.15909E+00	4.82233E+00	1.14794E+00	3.44455E-03	0.00000E+00
104	1.15010E+00	4.86732E+00	1.14796E+00	3.41088E-03	0.00000E+00
105	1.14249E+00	4.91200E+00	1.14791E+00	3.37790E-03	0.00000E+00
106	1.19431E+00	4.95848E+00	1.14836E+00	3.37486E-03	0.00000E+00
107	1.18053E+00	5.00700E+00	1.14866E+00	3.35706E-03	0.00000E+00
108	1.13458E+00	5.05267E+00	1.14853E+00	3.32776E-03	0.00000E+00
109	1.16357E+00	5.09917E+00	1.14867E+00	3.29927E-03	0.00000E+00
110	1.16999E+00	5.14783E+00	1.14887E+00	3.27447E-03	0.00000E+00

THE MATRIX K-EFF IS THE LARGEST EIGENVALUE OF THE MATRIX OF FISSION PROBABILITIES BY UNIT.
THERE ARE NBXMAX * MBYMAX * NBZMAX UNITS IN AN ARRAY.

途中省略

BURNUP CREDIT / KENO-IV / DISTRIBUTION / BURNUP.FORT(KN15)

FREQUENCY FOR GENERATIONS 11 TO 110	
1.0659 TO 1.0822	**
1.0822 TO 1.0985	***
1.0985 TO 1.1149	***
1.1149 TO 1.1312	**
1.1312 TO 1.1475	*****
1.1475 TO 1.1638	*****
1.1638 TO 1.1802	*****

1.1802 TO 1.1965 *****
1.1965 TO 1.2128 *

FREQUENCY FOR GENERATIONS 36 TO 110

1.0659 TO 1.0822
1.0822 TO 1.0985
1.0985 TO 1.1149
1.1149 TO 1.1312 *
1.1312 TO 1.1475 *****
1.1475 TO 1.1638 *****
1.1638 TO 1.1802 *****
1.1802 TO 1.1965 *****
1.1965 TO 1.2128 *

FREQUENCY FOR GENERATIONS 61 TO 110

1.0659 TO 1.0822
1.0822 TO 1.0985
1.0985 TO 1.1149
1.1149 TO 1.1312
1.1312 TO 1.1475 *****
1.1475 TO 1.1638 *****
1.1638 TO 1.1802 *****
1.1802 TO 1.1965 *****
1.1965 TO 1.2128

FREQUENCY FOR GENERATIONS 86 TO 110

1.0659 TO 1.0822
1.0822 TO 1.0985
1.0985 TO 1.1149
1.1149 TO 1.1312
1.1312 TO 1.1475 *****
1.1475 TO 1.1638 *****
1.1638 TO 1.1802 *****
1.1802 TO 1.1965 *****
1.1965 TO 1.2128

***** END OF FILE ON UNIT 5 *****

5 MGCL の作成方法

5.1 MGCL の位置付け

中性子輸送計算を行うとき、計算ケースごとに核データ (たとえば ENDF、JENDL) を処理して断面積セットを作成するのは、効率的ではない。大きな労力を費やして作成した断面積セットが、唯一の計算ケースにしか利用できないからである。そこで、核データをあらかじめ適当に処理して、計算ケースに応じた群定数が簡単に作成できるような情報を用意しておくことがよく行われる。MGCL(Multigroup Constants Library) はこのような目的のために用意された臨界計算用多群定数ライブラリーのひとつで、核データを MGCL-ACE[9] で処理して作られる。

日本の評価済み核データ JENDL-3 を MGCL-ACE で処理して作成した多群定数ライブラリー (以下 MGCL-J3) は **Table 5.1** に示すように、1次元データ及び2次元データから構成される。たいていはこの2つを併せて MGCL と呼ぶが、1次元データを MGCL、2次元データを SMF(Scattering Matrix File) と便宜上分けて呼ぶこともある。

Table 5.1: MGCL ライブラリの構成

1. MGCL(1次元データ)

(a) 無限希釈断面積:

$$\sigma_t, \sigma_c, \nu\sigma_f, \sigma_e, \sigma_{in}, \sigma_{n,2n}$$

(b) 自己遮蔽因子表 (f-table):

$$f(\sigma_t), f(\sigma_c), f(\sigma_f), f(\sigma_e)$$

(c) 減速材質量効果表 (h-table):

$$h(\sigma_t), h(\sigma_c), h(\nu\sigma_f), h(\sigma_e), h(\sigma_{in}), h(\sigma_{n,2n}), h(\sigma_a)$$

2. SMF (2次元データ)

(a) 弾性散乱マトリクス:

$$\sigma_e(g \rightarrow g')$$

(b) 非弾性散乱マトリクス:

$$\sigma_{in}(g \rightarrow g')$$

(c) (n,2n) 反応マトリクス:

$$\sigma_{n,2n}(g \rightarrow g')$$

米国の評価済み核データ ENDF/B-IV に基づく多群定数ライブラリー MGCL-B-IV の 1 次元データには、h-table(狭い共鳴近似を補正した実効微視的断面積を計算するのに必要なデータ)は用意されていない。20℃の MGCL-J3 に対応する h-table だけが用意されている。

5.2 1次元データの算出法

5.2.1 無限希釈断面積

多群化された 1 次元データは、反応率を保存するようにして、次式から求める。

$$\sigma_{x,g}^i = \frac{\int_{E_g} \sigma_x^i(E) \phi(E) dE}{\int_{E_0} \phi(E) dE} \quad (5.1)$$

ここで、

- i: 核種を表す添字
- E: 中性子エネルギー
- x: 反応の種類を表す添字
- g: 中性子エネルギー群を表す添字
- $\phi(E)$: 体系の中性子エネルギースペクトル
- σ : 微視的断面積

$\sigma_x(E)$ は核データを処理して得られる。 $\sigma_x(E)$ は本来連続的であるが、ここではエネルギー幅の小さい離散的なデータとして扱う。MGCL-ACE では、中性子エネルギー範囲を 64,000 群に分割している。ここで重要なのは、 $\sigma_x(E)$ には自分以外の核種の共鳴効果が含まれていないことである。 $\phi(E)$ は体系すなわち計算ケースに依存する。これを精度良く知るためには、減速方程式を解く必要があるが、MGCL-ACE では NR 近似に基づく次式で $\phi(E)$ を近似している。

$$\phi(E) = \frac{1}{\Sigma_t(E)} \cdot \phi_s(E) \quad (5.2)$$

式中の $\phi_s(E)$ は標準スペクトルで、MGCL-ACE では Figure 5.1 に示す fission、 $1/E$ 、マックスウェルの 3 要素から構成される分布を採用している。

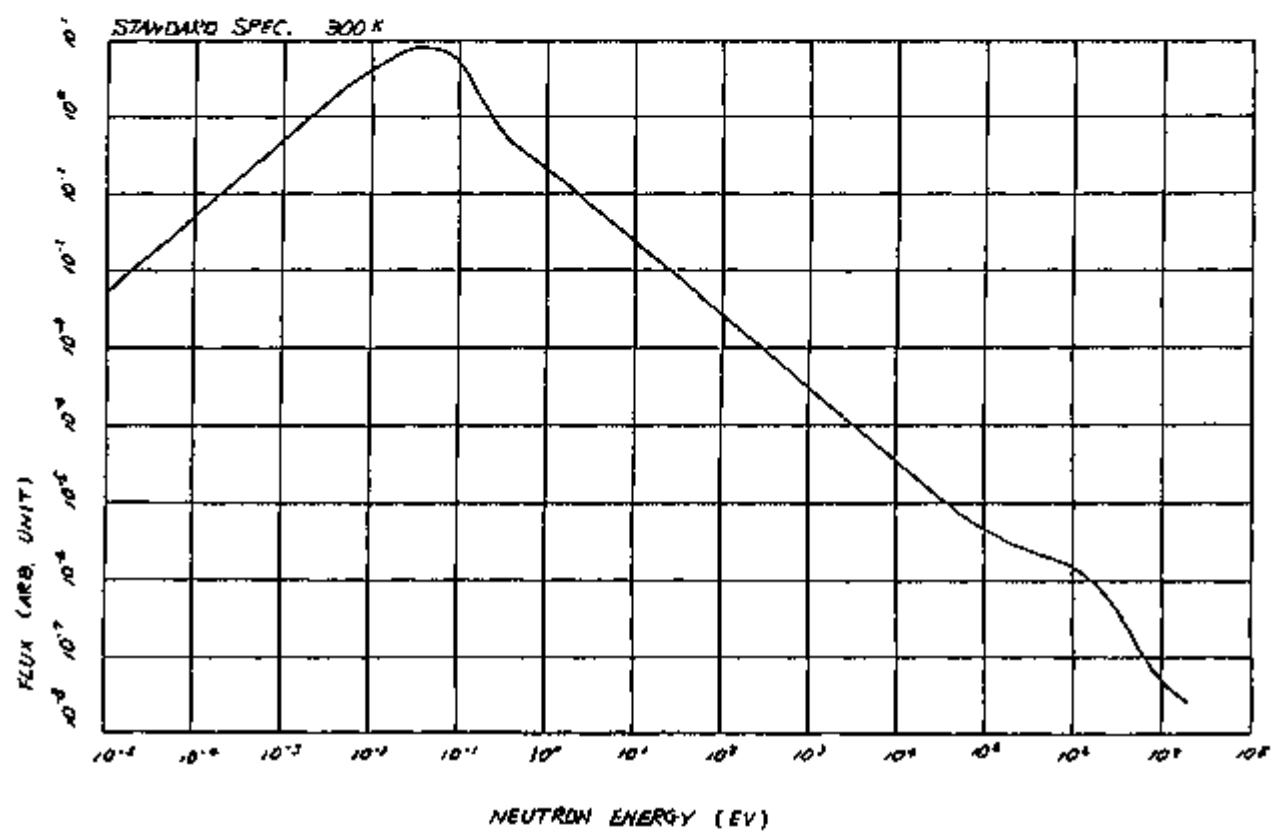


Figure 5.1: 標準スペクトル

$\Sigma_t(E)$ は巨視的全断面積である。式 (5.2) は、 $\Sigma_t(E)$ の大きいところたとえば共鳴のあるところでは中性子束が落ち込むことを表している。この近似は、全エネルギー範囲についてはあまり良い近似ではないが、狭いエネルギー範囲の相対的な中性子束を表現するには割合良い近似であるという。式 (5.2) を式 (5.1) に代入すると、次式を得る。

$$\sigma_{x,g}^i = \frac{\int_{E_g} \frac{\sigma_x^i(E) \phi_s(E)}{\Sigma_t(E)} dE}{\int_{E_g} \frac{\phi_s(E)}{\Sigma_t(E)} dE} \quad (5.3)$$

以上で、体系内の自分以外の核種（特に共鳴核種）の存在を考慮した 1 次元データすなわち微視的断面積を計算する準備ができた。しかし、体系内の各核種の $\sigma_t(E)$ がまだ未知のため、 $\Sigma_t(E)$ も依然未知である。

ここで、 $\Sigma_t(E)$ について考える。 $\Sigma_t(E)$ と $\sigma_t(E)$ には次の関係がある。

$$\Sigma_t(E) = \sum_{j \in R} \sigma_t^j(E) \cdot N^j \quad (5.4)$$

ここで $j \in R$ は、核種 j が領域 R に含まれることを意味する。今、核種 i に注目してその個数密度 N^i で式 (5.4) の両辺を除すと式 (5.5) を得る。

$$\Sigma_t(E)/N^i = \frac{1}{N^i} \sum_{j \in R} \sigma_t^j(E) \cdot N^j = \sigma_t^i(E) + \frac{1}{N^i} \cdot \sum_{j \neq i} \sigma_t^j(E) \cdot N^j = \sigma_t^i(E) + \sigma_0 \quad (5.5)$$

上式の σ_0 は、バックグラウンド断面積と呼ばれ、注目核種 i 一個当りの、領域 R に含まれる i 以外の核種の微視的全断面積の総和である。上式を式 (5.3) に代入すると、 σ_0 を変数にもつ次式を得る。

$$\sigma_{x,g}^i(\sigma_0) = \frac{\int_{E_g} \frac{\sigma_x^i(E) \phi_s(E)}{\sigma_t^i(E) + \sigma_0} dE}{\int_{E_g} \frac{\phi_s(E)}{\sigma_t^i(E) + \sigma_0} dE} = \frac{\int_{E_g} \frac{\sigma_x^i(E) \phi_s(E)}{\frac{\sigma_t^i(E)}{\sigma_0} + 1} dE}{\int_{E_g} \frac{\phi_s(E)}{\frac{\sigma_t^i(E)}{\sigma_0} + 1} dE} \quad (5.6)$$

式 (5.6) より、 σ_0 によって微視的断面積 $\sigma_{x,g}^i$ が決定付けられることがわかる。MGCL には次に示す 12 種類の σ_0 に対する $\sigma_{x,g}^i$ が用意されている。

0, 0.1, 1, 10, 30, 100, 300, 10^3 , 3×10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^8

$\sigma_0 = \infty$ の時、すなわち注目核種の個数密度が非常に小さい (注目核種の濃度が非常に薄い)、あるいは $\sigma_i^1(E)$ が σ_0 に較べて非常に小さい場合、着目核の存在は、自分自身の断面積にも他の核の断面積に影響を与えない。その時の $\sigma_{x,g}^1$ は無限希釈断面積と呼ばれる。すなわち、式 (5.6) において、 $\sigma_0 \rightarrow \infty$ または $\sigma_i^1(E) \ll \sigma_0$ である場合には、

$$\sigma_{x,g}^1(\sigma_0 \rightarrow \infty) \equiv \sigma_{x,g,\infty}^1 = \frac{\int_{E_g} \sigma_x^1(E) \phi_s(E) dE}{\int_{E_g} \phi_s(E) dE} \quad (5.7)$$

NR 近似のもとでは、共鳴における中性子束が、共鳴が無い場合の中性子束として定義されている $1/E$ スペクトルとなり、

$$\sigma_{x,g,\infty}^1 = \frac{\int_{E_g} \sigma_x^1(E) dE/E}{\int_{E_g} dE/E} \quad (5.8)$$

MGCL では $\sigma_0=10^8$ における $\sigma_{x,g}^1$ を無限希釈断面積と仮定している。

5.2.2 共鳴自己遮蔽因子

「12 種類の σ_0 に対する $\sigma_{x,g}^1$ が用意されている」と述べたが、実際には $\sigma_{x,g}^1$ そのものではなく、次に示すデータが用意されている。

$$f_{x,g}^1(\sigma_0) = \frac{\sigma_{x,g}^1(\sigma_0)}{\sigma_{x,g}^1(10^8)} \quad (5.9)$$

式 (5.9) の左辺は共鳴自己遮蔽因子 (resonance self-shielding factor) と呼ばれる。右辺の分母は $\sigma_0=10^8$ における $\sigma_{x,g}^1$ すなわち無限希釈断面積である。各変数 i , x , g 及び σ_0 に対する共鳴自己遮蔽因子の集まりを共鳴自己遮蔽因子表 (f-table) と呼ぶ。

以上の議論では体系の温度については全く触れなかったが、ドップラー効果により共鳴エネルギー領域の断面積の温度依存性は高い。MGCL では、温度に関する変数を持たむことはせず一定としている。その代わりに温度ごとに別々の MGCL を用意している。例えば MGCL-B-IV の場合、次に示す 5 種類の温度のライブラリーが用意されている。

300K, 560K, 900K, 1200K, 2100K

MAIL3.1 は、温度の異なる 2 つのライブラリーの f-table を内挿して、任意の温度の $\sigma_{x,g}^i$ を発生できる。温度内挿の詳細については、第 7.4 章で述べる。

5.2.3 狭い共鳴近似の補正

MGCL-ACE では、体系の中性子スペクトル $\phi(E)$ を NR 近似に基づき式 (5.2) のように与えている。これに対して、共鳴吸収効果の大きな核種 (^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{56}Fe) では減速方程式を解いて重み中性子スペクトルを求める。第 5.2.1 項で述べた 12 種類の σ_0 の値に対応する体系を次のように設定する。

1. 注目核種 i の個数密度が 10^{-4} atoms/barn-cm、仮想的な減速材核種 A_X の個数密度が $(\sigma_0 \cdot 10^{-4})$ atoms/barn-cm の均質体系。
2. A_X の質量数は $A(=1, 12, 200)$ 。
3. A_X の散乱断面積はエネルギーによらず一定 (1 barn)。

衝突確率法の計算コード RABBLE[19] を用いて、減速方程式を 16.4872MeV から 1.85539eV まで超多群 (MGCL-ACE が採用しているエネルギー分割と同じ 64,000 群) で解き $\phi(E)$ を求める。超多群の断面積を $\phi(E)$ で重み付けして、高速群での多群断面積 $\sigma_{x,g}^i(\sigma_0, A)$ を算出する。注目核種 (上記 7 核種) に対する f-table 及び h-table は次式で与えられる。なお、h-table は現在、20℃の MGCL-J3 にだけ用意されている。h-table の詳細は文献 [17] を参照されたい。また、これらのデータを使用して実効断面積を作成する方法については、第 7 章で述べる。

$$f_{x,g}^i(\sigma_0) = \frac{\sigma_{x,g}^i(\sigma_0, 1)}{\sigma_{x,g}^i(10^8, 1)}, \quad h_{x,g}^i(\sigma_0) = \frac{\sigma_{x,g}^i(\sigma_0, A)}{\sigma_{x,g}^i(10^8, 1)} \quad (5.10)$$

5.3 2次元データの算出法

弾性散乱、非弾性散乱、(n,2n) 反応が起こると、その結果中性子が散乱または放出される。このような事象のデータを表すときには、入射中性子のエネルギー E 及び散乱 (放出)

中性子のエネルギー E' が必要となる。エネルギーについては入射中性子のエネルギーのみを変数にもつ 1 次元データと対比して、これらを 2 次元データあるいは SMF (Scattering Matrix File) と呼ぶ。E 及び E' (g 及び g') の関係は次式から求める。

$$\sigma_x^i(g \rightarrow g') = \frac{\int_{E_g} \int_{E_{g'}} \sigma_x^i(E \rightarrow E') dE' \phi(E) dE}{\int_{E_g} \phi(E) dE} \quad (5.11)$$

式 (5.11) の $\sigma_x^i(E \rightarrow E')$ は、MGCL-ACE に含まれているプログラム SUPERTOGL[20] (高速群) 及び PIXSE[21] (熱群) で核データを処理して作成する。 $\phi(E)$ には、前に述べた標準スペクトル $\phi_s(E)$ を使う。

SMF には、式 (5.11) から得られた $\sigma_x^i(g \rightarrow g')$ を次のように規格化したデータが収められている。この式は、「 g 群の中性子が核種 i と反応 x を起こした時に、 g' 群のエネルギーを持つ中性子を放出する確率」を表す。

$$P_x^i(g \rightarrow g') = \frac{\sigma_x^i(g \rightarrow g')}{\sum_{g'} \sigma_x^i(g \rightarrow g')} = \frac{\sigma_x^i(g \rightarrow g')}{\sigma_{x,g}^i} \quad (5.12)$$

上に示した考え方は、散乱の角度依存性を考慮していない。MGCL の 2 次元データでは非弾性散乱及び $(n, 2n)$ 反応 については角度依存性を考慮していないが、弾性散乱については二重微分散乱断面積をルジャンドル展開した時の 1 次の成分まで考慮している。この場合式 (5.11) では、 $\sigma_x^i(E \rightarrow E')$ に代って、0 次及び 1 次の展開係数 $\sigma_{s,0}^i(E \rightarrow E')$ 及び $\sigma_{s,1}^i(E \rightarrow E')$ を用いる。MGCL-J3 では 3 次の成分まで考慮している。

6 MGCL の構造

6.1 MGCL ライブラリーの群構造

MGCL はエネルギー群数の違いから、26 群 MGCL と 137 群 MGCL の 2 つに分類できる。各々の群構造を Table 6.1 と Table 6.2 に示す。137 群 MGCL は第 1 群から第 92 群までを高速群、残りの 45 群を熱群としている。高速群は等レサジー幅で、熱群のおおよそは等速幅でそれぞれ群分割してある。熱群では上方散乱が考慮されている。

6.2 MGCL ライブラリーの記録形式

MGCL-B-IV の記録形式を Table 6.3 から Table 6.9 に示す。1 次元データと 2 次元データはそれぞれ別のデータセットに用意されている。MGCL-J3 の記録形式を Table 6.10 から Table 6.14 に示す。MGCL-J3 ではメモリースペースを節約するために、f-table 中の 1.0 が連続する部分及び、2 次元データの 0.0 が連続する部分は省略してある。Table 6.15 と Table 6.16 に示した記録形式の h-table(減速材質量効果因子表) は臨界計算で重要な 7 核種に限り用意してある。MGCL-J3 の 1 次元データ、2 次元データ、h-table もそれぞれ別のデータセットに用意されている。

Table 6.1: MGCL のエネルギー群構造-1

Group No		Upper Energy	Lethargy	Group No		Upper Energy	Lethargy
26Gr	137Gr	Boundary	width	26Gr	137Gr	Boundary	width
1	1	16 487 Mev	0.125	4	37	183.16 Kev	0.125
	2	14 550	0.125		38	161.63	0.125
	3	12 840	0.125		39	142.64	0.125
	4	11 331	0.125		40	125.88	0.125
	5	10 000	0.125		41	111.09	0.125
	6	8 825	0.125		42	98.037	0.125
	7	7 788	0.125		43	85.517	0.125
	8	6 8729	0.125		44	76.351	0.125
	9	6 0653	0.125		45	67.379	0.125
	10	5 3526	0.125		46	59.462	0.125
2	11	4 7239	0.125	5	47	52.475	0.125
	12	4 1686	0.125		48	46.309	0.125
	13	3 6788	0.125		49	40.868	0.125
	14	3 2465	0.125		50	36.066	0.125
	15	2 8650	0.125		51	31.828	0.125
	16	2 5284	0.125		52	28.098	0.125
	17	2 2313	0.125		53	24.788	0.125
	18	1 9691	0.125		54	21.875	0.125
	19	1 7377	0.125		55	19.305	0.125
	20	1 5335	0.125		56	17.036	0.125
	21	1.3533	0.125	6	57	15.034	0.25
	22	1.1943	0.125		58	11.709	0.25
3	23	1 0540	0.125		59	9.1188	0.25
	24	930.14 Kev	0.125		60	7.1017	0.25
	25	820.85	0.125	7	61	5.5308	0.25
	26	724.40	0.125		62	4.3075	0.25
	27	639.28	0.125		63	3.3546	0.25
	28	564.16	0.125		64	2.6126	0.25
	29	497.87	0.125		65	2.0347	0.25
	30	439.37	0.125		66	1.5846	0.25
	31	387.74	0.125		67	1.2341	0.25
	32	342.18	0.125		68	961.12 ev	0.25
	33	301.97	0.125		69	748.52	0.25
	34	266.49	0.125	8	70	582.95	0.25
	35	235.18	0.125		71	454.00	0.25
	36	207.54	0.125		72	353.58	0.25

Table 6.2 MGCL のエネルギー群構造-2

Group No		Upper Energy	Leithargy
26 Gr	137 Gr	Boundary	width
8	73	275.36 eV	0.25
	74	214.45	0.25
	75	167.02	0.25
9	76	130.07	0.25
	77	101.30	0.25
	78	78.893	0.25
	79	61.442	0.25
	80	47.851	0.25
	81	37.267	0.25
10	82	29.023	0.25
	83	22.603	0.25
	84	17.603	0.25
	85	13.710	0.25
	86	10.677	0.25
	87	8.3153	0.25
11	88	6.4760	0.25
	89	5.0435	0.25
	90	3.9279	0.25
	91	3.0590	0.25
	92	2.3824	0.25
12	93	1.8554	0.125
	94	1.6374	0.125
	95	1.4450	0.125
13	96	1.2752	0.125
	97	1.1254	0.125
	98	0.99312	0.125
14	99	0.87642	0.125
	100	0.77344	0.125
15	101	0.68256	0.125
	102	0.60236	0.125
	103	0.53158	0.125
	104	0.46912	0.125
16	105	0.41399	270 m/sec
	106	0.38925	270
	107	0.36528	270
Group No		Upper Energy	Leithargy
26 Gr	137 Gr	Boundary	width
17	108	0.34206 eV	270 m/sec
	109	0.31961	270
	110	0.29792	270
18	111	0.27699	270
	112	0.25683	270
	113	0.23742	270
19	114	0.21871	270
	115	0.20090	270
	116	0.18378	270
20	117	0.16743	270
	118	0.15183	270
	119	0.13700	270
21	120	0.12293	270
	121	0.10962	270
	122	0.09708	270
22	123	0.085295	270
	124	0.074274	270
	125	0.064015	270
23	126	0.054518	270
	127	0.045783	270
	128	0.037811	270
24	129	0.030600	270
	130	0.024152	270
	131	0.018465	270
25	132	0.013541	270
	133	0.009379	270
	134	0.005979	270
26	135	0.003341	270
	136	0.001466	270
	137	0.000352	270
	138	0.000033	270

Table 6.3: MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, NUC, (NUCID(I),I=1,NUC), (KREC(I),I=1,NUC), IGMAX IGF IGT	レコード番号 レコード数 核種数 各核種の識別番号 各核種の先頭レコード数 全エネルギー群数 高速エネルギー群数 熱エネルギー群数	0 137 または 26 92 または 11 45 または 15
レコードの区切り		
IREC, 1 NREC, ((COMMENT(I,J),I=1,18), J=1,NREC/18)	レコード番号 レコード数 コメント	

この後、各核種のデータが NUC 回繰返される。1 核種分のデータを次ページ以降に示す。

Table 6.4: MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC,	レコード番号	5
NREC,	レコード数	23
NUCID,	核種識別番号	
IFT,	σ_0 の数	12
ITM,	MGCL の温度点の数	1
ITMT,	SMF の温度点の数	1
JMUTS,	g-table の相手核種の数	0
JC,	捕獲断面積 (σ_c) の有無	0: 無、1: 有り (以下同様)
JF,	核分裂断面積 (σ_f) の有無	
JIN,	非弾性散乱断面積 (σ_{in}) の有無	
JN2N,	(n,2n) 反応断面積 ($\sigma_{n,2n}$) の有無	
JFTC,	σ_c の f-table の有無	
JFTNUF,	σ_f の f-table の有無	
JFTT,	全断面積 (σ_t) の f-table の有無	
JFTT2,	第 2 種 σ_t の f-table の有無	0
JFTT3,		1
JFTE,	弾性散乱断面積 (σ_e) の f-table の有無	
JFTR,	除去断面積 (σ_R) の f-table の有無	
JME,	σ_R の g-table の有無	0
JMIN,	σ_{in} の g-table の有無	0
JHN2N,	$\sigma_{n,2n}$ の g-table の有無	0
JMTE,	σ_e の g-table の有無	0
JFKAI,	χ (核分裂スペクトル) の有無	0
JMU,	μ の有無	0
LG	ルジャンドル展開最高次数	1

Table 6.5: MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, ((COMMENT(I,J),J=1,18), J=1,NREC/18)	レコード番号 レコード数 コメント	6
レコードの区切り		
IREC, NREC, (SG0(I),I=1,12), (DUMMY(I),I=1,2)	レコード番号 レコード数 IFT 網の σ_0 の値 ダミーデータ	9 14
レコードの区切り		
IREC, NREC, (SGT(I),I=1,IGMAX), (SGC(I),I=1,IGMAX), (SGF(I),I=1,IGMAX), (SGNF(I),I=1,IGMAX), (SGNU(I),I=1,IGMAX), (SGS(I),I=1,IGMAX), (SGIN(I),I=1,IGMAX), (SGIN2N(I),I=1,IGMAX), (SGT2(I),I=1,IGMAX), (KAI(I),I=1,IGF), (MYU(I),I=1,IGF)	レコード番号 レコード数 無限希釈全断面積 無限希釈捕獲断面積 無限希釈核分裂断面積 無限希釈 (ν ・核分裂) 断面積 ν (核分裂あたりの中性子放出数) 無限希釈散乱断面積 無限希釈非弾性散乱断面積 無限希釈 (n,2n) 反応断面積 無限希釈全 (第 2 種) 断面積 χ μ の値	10 20 MAIL3.1 では読み込まない MAIL3.1 では読み込まない MAIL3.1 では読み込まない MAIL3.1 では読み込まない

Table 6.6: MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, ((FTT(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_t の f-table	20 IGMAX·IFT JFTT=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, ((FTC(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_c の f-table	21 IGMAX·IFT JFTC=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, ((FTR(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_f の f-table	22 IGMAX·IFT JFTNUF=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, ((FTE(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_e の f-table	23 IGMAX·IFT JFTE=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, ((FTT3(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_t (第2種) の f-table	25 IGMAX·IFT JFTT3=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, ((FTR(I,J),I=1,IGMAX), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 σ_e の f-table	26 IGMAX·IFT JFTR=1 の場合のみ

Table 6.7: MGCL-B-IV のレコード形式 (一次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, ({WFLX(I,J),I=1,IGMAX}, J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 MGCL,SMF をエネルギー縮約する ときに用いる重みフラックス *1)	55 IGMAX-IFT
レコードの区切り		
IREC, NREC, DUM	レコード番号 レコード数 ダミーデータ	999 1 以上で 1 核種分の データの終了

* $\int_g \phi_s / (\sigma_t + \sigma_0)$

Table 6.8: MGCL-B-IV のレコード形式 (二次元データ)

配列名、変数名	内 容	備 考
NAME, NTK	核種識別番号 核種温度	
レコードの区切り		
MAXG, IFSC, IFIN, IFN2N, LG, AWR, SGPO	全エネルギー群数 弾性散乱マトリクスの有無 非弾性散乱マトリクスの有無 (n,2n) 反応マトリクスの有無 ルジャンドル展開最高次数 原子量 ポテンシャル断面積	137 または 26 無:0, 1: 有り (以下同様) 1 単位 [u]
レコードの区切り		
DUMMY	ダミーデータ	
レコードの区切り		
(W0(I),I=1,MAXG)	0 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合
レコードの区切り		
(W0(I),I=1,MAXG)	〃	
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		
(W1(I),I=1,MAXG)	1 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合
レコードの区切り		
(W1(I),I=1,MAXG)	〃	
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		

Table 6.9: MGCL-B-IV のレコード形式 (二次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
(W5(I),I=1,MAXG)	非弾性散乱マトリクス	IFIN=1 の場合
レコードの区切り		
(W5(I),I=1,MAXG)	〃	
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		
(W6(I),I=1,MAXG)	(n,2n) 散乱マトリクス	IFN2N=1 の場合
レコードの区切り		
(W6(I),I=1,MAXG)	〃	
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
以上のデータを核種の数だけ繰り返す。		

Table 6.10: MGCL-J3 のレコード形式 (一次元データ) MGCL-B-IV と異なる部分のみ

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, ((COMMENT(I,J),I=1,18), J=1,NREC/18), COMMENT(1,NREC)*1)	レコード番号 レコード数 コメント	1

*1) COMMENT(1,NREC)='COMP' は、領域節約型 MGCL であることを表す
以下、核種ごとに NUC 回繰返す。

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTT(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_i の f-table	20 IGMAX·IFT IFN ≤ IGMAX JFTT=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTC(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_c の f-table	21 IGMAX·IFT IFN ≤ IGMAX JFTC=1 の場合のみ

*1) MGCL-J3 のメモリスぺース節約のために、第 i 群の f-table の値 (FTT(i,J), J=1,IFT) のすべてが区間 (0.995, 1.005) の中に含まれる場合に限り、これらの値を MGCL へ書込むことを省略している。他の反応の f-table も同様である。省略された f-table は MAIL3.1 で 1.0 に再現される。次ページも同じ。

Table 6.11: MGCL-J3 のレコード形式 (一次元データ) MGCL-B-IV と異なる部分のみ (続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTR(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_f の f-table	22 IGMAX·IFT IFN≤IGMAX JFTNUF=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTE(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_e の f-table	23 IGMAX·IFT IFN≤IGMAX JFTE=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTT3(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_t (第2種) の f-table	25 IGMAX·IFT IFN≤IGMAX JFTT3=1 の場合のみ
レコードの区切り		
IREC, NREC, IFN, (IFX(I),I=1,IFN), ((FTR(I,J),I=1,IFN), J=1,IFT)	レコード番号 レコード数 省略していない f-table の数 *1) 省略していない f-table の群 *1) σ_e の f-table	26 IGMAX·IFT IFN≤IGMAX JFTR=1 の場合のみ

Table 6.12: MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)

配列名、変数名	内 容	備 考
NAME, NTK	核種識別番号 核種温度	
レコードの区切り		
MAXG, IFSC, IFIN, IFN2N, LG, AWR, SGPO	全エネルギー群数 弾性散乱マトリクスの有無 非弾性散乱マトリクスの有無 (n,2n) 反応マトリクスの有無 ルジャンドル展開最高次数 原子量 ポテンシャル断面積	137 または 26 無:0, 1: 有り (以下同様) 3 単位 [u]
レコードの区切り		
COMP	領域節約型データである事を表す指標	COMP='COMP' のとき 領域節約型データ
レコードの区切り		
ISTART, IEND, (W0(I), I=ISTART,IEND)	0 次の弾性散乱マトリクス書込み開始群 0 次の弾性散乱マトリクス書込み終了群 0 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		
ISTART, IEND, (W1(I), I=ISTART,IEND)	1 次の弾性散乱マトリクス書込み開始群 1 次の弾性散乱マトリクス書込み終了群 1 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		

(次ページに続く)

Table 6.13: MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
ISTART, IEND, (W1(I), I=ISTART,IEND)	2 次の弾性散乱マトリクス書き込み開始群 2 次の弾性散乱マトリクス書き込み終了群 2 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		
ISTART, IEND, (W1(I), I=ISTART,IEND)	3 次の弾性散乱マトリクス書き込み開始群 3 次の弾性散乱マトリクス書き込み終了群 3 次の弾性散乱マトリクス	IFSC=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		
ISTART, IEND, (W5(I), I=ISTART,IEND)	非弾性散乱マトリクス書き込み開始群 非弾性散乱マトリクス書き込み終了群 非弾性散乱マトリクス	IFIN=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
・ (上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		

(次ページに続く)

Table 6.14: MGCL-J3 のレコード形式 (二次元データ)(続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
ISTART, IEND, (W6(I), I=ISTART,IEND)	(n,2n) 散乱マトリクス書き込み開始群 (n,2n) 散乱マトリクス書き込み終了群 (n,2n) 散乱マトリクス	IFN2N=1 の場合 〃 〃
レコードの区切り		
(上記データを計 MAXG 回繰り返す)		
レコードの区切り		

Table 6.15: MGCL-J3 のレコード形式 (h-table)

配列名、変数名	内 容	備 考
NUCID,	核種識別番号	
NREAC,	反応の数 (種類)	8
NGF,	全エネルギー群数	92
NSIG0,	σ_0 の数	12
NAM,	減速材の数 (種類)	3
TEMP	温度	293.15 K
レコードの区切り		
(REAC(I),I=1,NREAC),	反応名	
ENEU(I),I=1,NGF+1),	エネルギー群構造	[eV]
(SIG0(I),I=1,NSIG0),	σ_0 の値	
(AM(L),L=1,NAM)	減速材の質量数	1, 12, 200
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,1), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、吸収反応)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,2), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、生成反応)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,3), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、弾性散乱)	

(次ページに続く)

Table 6.16: MGCL-J3 のレコード形式 (h-table) (続き)

配列名、変数名	内 容	備 考
((HTAB(L,K,J,4), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、非弾性散乱)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,5), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、(n,2n) 反応)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,6), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、核分裂反応)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,7), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、全反応)	
レコードの区切り		
((HTAB(L,K,J,8), L=2,NAM), K=2,NSIG0), J=1,NGF)	h テーブル (減速材質量効果因子、捕獲)	

以上のデータを核種の数 (^{56}Fe , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu の計 7 核種) だけ繰返す。エネルギー群構造は、137 群 MGCL の第 1 群から第 92 群に等しい。反応の種類は吸収反応、生成反応、弾性散乱、非弾性散乱、(n,2n) 反応、核分裂反応、全反応、捕獲反応の 7 つである。

7 断面積セット作成方法

多群定数ライブラリー MGCL を MAIL3.1 で処理して KENO、ANISN-JR 計算用の断面積セットを作成する方法の概要を述べる。臨界計算の対象となる体系はいくつかの領域(組成による区分。たとえば燃料、被覆材、減速材、反射材、構造材等)から構成されるが、断面積セットは領域単位で分割されている。1 領域分のデータは実効巨視的断面積及び巨視的散乱データから成る。

7.1 実効微視的断面積の計算

ある領域 R の実効巨視的断面積は、その中に含まれる各核種の実効微視的断面積と個数密度の積の総和である。個数密度は入力データとして与えられるか、あるいは領域の組成から MAIL3.1 自身が計算を行う。実効微視的断面積は次の手順で求める。はじめに式(7.1)を使って注目核種のバックグラウンド断面積 σ_0 を求める。

$$\sigma_{0,g}^i = \frac{1}{N^i} \sum_{j \neq i} \sigma_{i,g}^j \cdot N^j \quad (7.1)$$

ここで、

- i,j: 核種を表す添字
- g: 中性子エネルギー群を表す添字
- N: 原子個数密度
- σ_i : 微視的全断面積

$\sigma_{i,g}^j$ は未知であるため、その初期値として σ_i の無限希釈断面積 $\sigma_{i,g}^j(10^8)$ を代用する。式(7.1)から $\sigma_{0,g}^i$ が得られたら、これを次式に代入して $\sigma_{i,g}^j$ を求める。

$$\sigma_{i,g}^j(\sigma_0) = f_{i,g}^j(\sigma_0) \cdot h_{i,g}^j(\sigma_0, A) \cdot \sigma_{i,g}^j(10^8) \quad (7.2)$$

式(7.2)から得られた微視的全断面積 $\sigma_{i,g}^j$ は、式(7.1)の実行の際に近似を取入れたので、正確な値にはなっていない。そこでこの $\sigma_{i,g}^j$ をもう一度、式(7.1)に代入して $\sigma_{0,g}^i$ を再計算し、続いて $\sigma_{i,g}^j$ を求める。これを何回か繰り返して正確な $\sigma_{i,g}^j$ を求める。 $\sigma_{i,g}^j(\sigma_0)$ がある判定値を満足するまで収束したら繰り返しを終える。この一連の計算を全群、全核種について行い、各々の σ_i を求める。

さて、式 (7.2) 中の $f_{i,g}^i(\sigma_0)$ 及び $h_{i,g}^j(\sigma_0, A)$ は、関数ではなく表の形式 (f-table, h-table) で用意されているので、式 (7.2) の実行の前に、f-table 及び h-table からこれら 2 つの値を求める必要がある。 $f_{i,g}^i(\sigma_0)$ (以下、簡単化して $f(\sigma_0)$ と書く) は、変数 σ_0 について f-table を内挿して求める。 $f(\sigma_0)$ が σ_0 に対して単調増加する場合には、次のように $f(\sigma_0)$ と σ_0 とを関係づける。

$$f(\sigma_0) = A \cdot \tanh(B \cdot (\ln \sigma_0 + C)) + D \quad (7.3)$$

式 (7.3) 中の定数 A 及び D は次式から求める。

$$A = \frac{(f(\infty) - f(0))}{2} \quad (7.4)$$

$$D = \frac{(f(\infty) + f(0))}{2} \quad (7.5)$$

ここで、 $f(\infty) = 1.0$ である。定数 B 及び C は、式 (7.2) から得られた σ_0 を挟む 2 つの σ_0 (σ_{01} 及び σ_{02}) を用いて次式から求める。

$$B = \frac{\tanh^{-1}[(f(\sigma_{02}) - D)/A] - \tanh^{-1}[(f(\sigma_{01}) - D)/A]}{\ln(\sigma_{02}/\sigma_{01})} \quad (7.6)$$

$$C = \frac{\tanh^{-1}[(f(\sigma_{01}) - D)/A]}{B} - \ln \sigma_{01} \quad (7.7)$$

$f(\sigma_0)$ が σ_0 に対して単調増加でない場合には、式 (7.2) から得られた σ_0 を挟む 2 つの σ_0 (σ_{01} 及び σ_{02}) の間を直線内挿して $f(\sigma_0)$ を求める。 $f(\sigma_0)$ が $[10^5, 10^8]$ の区間にある場合には、次式を用いる。

$$f(\sigma_0) = 1 - \frac{A}{\sigma_0} \quad (7.8)$$

ここで、

$$A = 10^5 \cdot [1 - f(10^5)] \quad (7.9)$$

h-table の変数 σ_0 に対する内挿は、 σ_0 の対数値に対して 2 点の直線内挿を行う。h-table のもうひとつの変数である質量数 A に関しては、次式で定義される衝突当りの平均レサジー増加量 ξ に対する直線内挿を行う。

$$\xi = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \cdot \ln \left[\frac{(A-1)}{(A+1)} \right] \quad (7.10)$$

以上 σ_t の計算方法を述べてきたが、 σ_t 以外の反応の実効微視的断面積も、式 (7.2) 及び式 (7.1) を用いて計算する。但し、 σ_t は既に分っているので、両式の繰返しは必要はない。

ここまでは、均質燃料領域あるいは非燃料領域の場合である。球状燃料、棒状燃料、板状燃料が小さい間隔で配列されたような非均質の燃料領域に対しては式 (7.1) を次のように修正することで均質領域と同様の処理ができる。

$$\sigma_{0,g}^{*} = \sigma_{0,g}^i + \frac{1}{N_i} \cdot \frac{1}{l'} \quad (7.11)$$

ここで、 l' は平均弦長 (mean chord length) と呼ばれる量で、次式で定義される。

$$l' = \frac{4V_F}{S_F} \quad (7.12)$$

V_F 、 S_F はそれぞれ燃料の体積、表面積である。ところで、式 (7.11) には適用限界があり、厳密には、広大な減速材中に燃料が一つだけ存在する場合にのみ適用できる。そうでない場合 (燃料が一定の間隔で連続して並んでいるような場合) には実効的な l' として l^* を用いる。

$$\frac{1}{l^*} = \frac{1}{l'} \left[\frac{a(1-C)}{1+(a-1)C} \right] \quad (7.13)$$

a は Bell 因子 (または Levin 因子)、 C ($C \leq 1.0$) はダンコフ補正係数である。

7.2 実効巨視的断面積の計算

原子個数密度及び第 7.1 節 で定義された実効微視的断面積を用いて、以下のように各反応、各エネルギー群 g (本節に限り、各式の g の添字は上付きとした)、各領域 R の実効巨視的断面積 Σ_{eff} を求める。なお、 $\sigma_a = \sigma_c + \sigma_f$ である。

$$\Sigma_a^g = \sum_j N^j \cdot \sigma_a^{j,g} \quad (7.14)$$

$$\Sigma_t^g = \sum_j N^j \cdot \sigma_t^{j,g} \quad (7.15)$$

$$(\nu \cdot \Sigma_f)^g = \sum_j N^j \cdot (\nu \cdot \sigma_f)^{j,g} \quad (7.16)$$

7.3 巨視的散乱データの計算

原子個数密度、第 7.1 節で得られた実効微視的断面積及び SMF データを用いて、以下のように各群、各領域の巨視的散乱データを求める。P₀ 成分に (n,2n) 断面積が 2 倍して加えられているのは、KENO 等の MAIL で処理した断面積を使用するコードでは (n,2n) 反応を取り扱わないので、そのようなコードでも (n,2n) 反応の効果を取り入れるためである。

P₀ 成分:

$$\begin{aligned} \Sigma_{s,0}(g \rightarrow g') &= \Sigma_{c,0}(g \rightarrow g') + \Sigma_{in}(g \rightarrow g') + \Sigma_{n2n}(g \rightarrow g') \\ &= \sum_j N^j \cdot \sigma_e^{j,g} \cdot P_{e,0}^{j,g}(g \rightarrow g') \\ &\quad + \sum_j N^j \cdot \sigma_{in}^{j,g} \cdot P_{in}^{j,g}(g \rightarrow g') \\ &\quad + 2 \cdot \sum_j N^j \cdot \sigma_{n2n}^{j,g} \cdot P_{n2n}^{j,g}(g \rightarrow g') \end{aligned} \quad (7.17)$$

P₁ 成分:

$$\Sigma_{s,1}(g \rightarrow g') = \Sigma_{e,1}(g \rightarrow g') = \sum_j N^j \cdot \sigma_e^{j,g} \cdot P_{e,1}^{j,g}(g \rightarrow g') \quad (7.18)$$

P₂ 成分:

$$\Sigma_{s,2}(g \rightarrow g') = \Sigma_{e,2}(g \rightarrow g') = \sum_j N^j \cdot \sigma_e^{j,g} \cdot P_{e,2}^{j,g}(g \rightarrow g') \quad (7.19)$$

P₃ 成分:

$$\Sigma_{s,3}(g \rightarrow g') = \Sigma_{e,3}(g \rightarrow g') = \sum_j N^j \cdot \sigma_e^{j,g} \cdot P_{e,3}^{j,g}(g \rightarrow g') \quad (7.20)$$

7.4 f-table の温度内挿法

MAIL3.0 以降では、温度が異なる (T_1, T_2) 二つの MGCL ライブラリーを参照して、その間にある任意の温度 T の実効断面積も計算できる。二つのライブラリーの f-table を以下のように対数直線内挿して [13]、入力で指定された温度における自己遮蔽因子を求め、指定温度の実効断面積を計算する。但し、SMF ライブラリーの温度内挿は行わないので、プログラム利用者は、指定温度に最も近い SMF を使用しなければならない。

$$f(\sigma_0, T) = f_1 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{L(T)} \quad (7.21)$$

ここで、 $f_1 = f(\sigma_0, T_1)$, $f_2 = f(\sigma_0, T_2)$, $L(T) = \ln(T/T_1) / \ln(T_2/T_1)$ である。

8 作成される断面積セットの記録形式

MAIL3.1 は SIMCRI, ANISN, KENO IV, MULTI-KENO, MULTI-KENO-2 及び MULTI-KENO-3.0 のための各断面積セットを提供する。SIMCRI, KENO IV, MULTI-KENO 及び MULTI-KENO-2 の断面積セットは共通で、KENO 形式の断面積セットと称している。ANISN 形式の断面積セットの記録形式を Table 8.1 から Table 8.3 に示す。特に Table 8.3 の IHM、IHS、IHT は ANISN の入力データの一部でもあり、重要な値である。

Table 8.1: ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式-1

レコード	変数	内容
1	IGM, IHM, L0, L, {TITL(I), I=1,12}	エネルギー群数 ライブラリー長 (ルジャンドル展開次数+1) 領域番号 タイトル
2	{ALM(I,1),I=1,IHM}	以下 Table 8.2参照
3	{ALM(I,2),I=1,IHM}	
4	{ALM(I,3),I=1,IHM}	
.		
.		
IG+1	{ALM(I,IG),I=1,IHM}	
.		
.		
IGM+1	{ALM(I,IGM),I=1,IHM}	

上記データを (ルジャンドル展開最高次数+1) 回繰返して、1 領域分の ANISN 用断面積セットになる。以上のデータを領域の数だけ繰返す。{ALM(I,IG),I=1,IHM} の詳しい内容を Table 8.2に示す。

表中の各変数の値はライブラリーのエネルギー群数に依存する。137 群及び 26 群 MGCL の場合にはそれぞれ Table 8.3 に示す値をとる。

Table 8.2: ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式 -2

変数	内容	コメント
ALM(1,IG)	Σ_a	(実効巨視的吸収断面積)
ALM(2,IG)	$\nu\Sigma_f$	(ν ・実効巨視的核分裂断面積)
ALM(3,IG)	Σ_t	(実効巨視的全断面積)
ALM(4,IG)	$\Sigma_s(\text{IG}+\text{NUS} \rightarrow \text{IG})$	
.		
.		
ALM(IHS-1,IG)	$\Sigma_s(\text{IG}+1 \rightarrow \text{IG})$	(以上、上方散乱断面積)
ALM(IHS,IG)	$\Sigma_s(\text{IG} \rightarrow \text{IG})$	(自群散乱断面積)
ALM(IHS+1,IG)	$\Sigma_s(\text{IG}-1 \rightarrow \text{IG})$	(以下、下方散乱断面積)
.		
.		
ALM(IHM,IG)	$\Sigma_s(\text{IG}-\text{NDS} \rightarrow \text{IG})$	

Table 8.3: ANISN フォーマット断面積ファイルのレコード形式-3

変数の意味	変数名	137 群 MGCL	26 群 MGCL
全エネルギー群数	IGM	137	26
熱エネルギー群数	NGT	45	15
高速エネルギー群数	NGF	92	11
ライブラリ長	IHM	185	44
自群散乱断面積の位置	IHS	49	19
実効マクロ断面積の位置	IHT	3	3
上方散乱の数	NUS		
下方散乱の数 (自群散乱も含む)	NDS		

$$IHM = IGM + NGT + 3$$

$$IHS = NGT + 4$$

$$NUS = (IHS - 1) - IHT = NGT$$

$$NDS = IHM - (IHS - 1) = IGM$$

である。

KENO 形式の断面積セットの記録形式を Table 8.4 から Table 8.6 に示す。MULTI-KENO-3.0 形式の断面積セットの記録形式を Table 8.7 に示す。この断面積セットは基本的には KENO 形式と同じであるが、 P_0 及び P_1 成分に加えて P_2 及び P_3 成分の情報、及び水素による中性子の散乱に関わる情報が追加されている。但し、現行の MULTI-KENO-3.0 は水素による中性子の散乱に関わる情報を利用せず、空読みする。

Table 8.4: KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-1

レコード	変数	内容
1	IREG, IGM, NDS, (E(I),I=1,IGM+1), (U(I),I=1,IGM+1)	領域の数 エネルギー群数 下方散乱の数(自群散乱も含む) 各群の上限エネルギー 各群の上限レサジー
2	(TITL(I), I=1,18), L, (CXA(I),CXNF(I),CXT(I),CKAI(I),I=1,IGM), ((ALM(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM), ((ALP(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	タイトル 領域番号 領域の $\Sigma_a, \nu\Sigma_f, \Sigma_t, \chi$ 巨視的散乱データ (P_0 成分) 巨視的散乱データ (P_1 成分)

IGM=NDS としている。レコード2は領域の数 (IREG) だけ繰返される。配列 ALM 及び ALP の内容を Table 8.5 に示す。KENO IV は、巨視的散乱データとして P_1 成分までを利用する。それより高次のデータを利用することはできない。

Table 8.5: KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-2(ALM と ALP)

変数	内容	コメント
ALM(1,1)	$\Sigma_s(1 \rightarrow 1)$	
ALM(2,1)	$\Sigma_s(1 \rightarrow 2)$	
ALM(3,1)	$\Sigma_s(1 \rightarrow 3)$	
ALM(NDS,1)	$\Sigma_s(1 \rightarrow \text{NDS})$	
レコードの区切		
ALM(1,2)	$\Sigma_s(2 \rightarrow 2)$	
ALM(2,2)	$\Sigma_s(2 \rightarrow 3)$	
ALM(3,2)	$\Sigma_s(2 \rightarrow 4)$	
ALM(NDS,2)	$\Sigma_s(2 \rightarrow \text{NDS}+1)$	
レコードの区切		
ALM(1,k)	$\Sigma_s(k \rightarrow k)$	ここまで上方散乱なし これ以下上方散乱あり
ALM(2,k)	$\Sigma_s(k \rightarrow k+1)$	
ALM(3,k)	$\Sigma_s(k \rightarrow k+2)$	
ALM(NDS,k)	$\Sigma_s(k \rightarrow \text{NGP})$	
レコードの区切		
ALM(1,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow \text{IGM-2})$	
ALM(2,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow \text{IGM-1})$	
ALM(3,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow \text{IGM})$	
ALM(4,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow \text{IGM-3})$	
ALM(5,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow \text{IGM-4})$	
ALM(NDS,IGM-2)	$\Sigma_s(\text{IGM-2} \rightarrow k)$	
レコードの区切		

(続く)

Table 8.6: KENO フォーマット断面積ファイルのレコード形式-3(ALM と ALP)(続き)

変数	内容	コメント
.		
.		
ALM(1,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow \text{IGM-1})$	
ALM(2,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow \text{IGM})$	
ALM(3,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow \text{IGM-2})$	
ALM(4,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow \text{IGM-3})$	
ALM(5,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow \text{IGM-4})$	
.		
.		
ALM(NDS,IGM-1)	$\Sigma_s(\text{IGM-1} \rightarrow k)$	
レコードの区切		
ALM(1,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow \text{IGM})$	
ALM(2,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow \text{IGM-1})$	
ALM(3,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow \text{IGM-2})$	
ALM(4,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow \text{IGM-3})$	
ALM(5,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow \text{IGM-4})$	
.		
.		
ALM(NDS,IGM)	$\Sigma_s(\text{IGM} \rightarrow k)$	

以上が配列 ALM (巨視的散乱データの P_0 成分) の内容である。配列 ALP (巨視的散乱データの P_1 成分) の内容もこれと同じである。ここで、

$k = \text{IGM} - \text{NDS} + 1$ である。なお、NDS は下方散乱の数 (自群散乱も含む) で、

IGM = NDS としている。よって、MAIL3.1 で作成した断面積セットを KENO IV で参照する場合には、KENO IV の入力データ カード 2 の変数 5 (NGP) 及び変数 6 (NDS) を同じ値にしなければならない。

Table 8.7: MULTI-KENO-3.0 フォーマット断面積ファイルのレコード形式

変数	内容	内容
1	IREG, IGM, NDS, (E(I),I=1,IGM+1), (U(I),I=1,IGM+1)	領域の数 エネルギー群数 下方散乱の数 (自群散乱も含む) 各群の上限エネルギー 各群の上限レサジー
2	(TITL(I),I=1,18), L, IPL, IH	領域のタイトル 領域番号 P_1 の最高次数 領域内の水素の有無
3	(CXA(I),CXNF(I),CXT(I),CKAI(I),I=1,IGM)	領域の $\Sigma_a, \nu\Sigma_f, \Sigma_t, \chi$
4	(HSP(I),I=1,IGM), (HHH(I),IG=1,IGM)	領域内の水素の Σ_t 及び実効散乱質量
5	((ALM(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	巨視的散乱データ (P_0 成分)
6	((ALP(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	巨視的散乱データ (P_1 成分)
7	((ALP2(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	巨視的散乱データ (P_2 成分)
8	((ALP3(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	巨視的散乱データ (P_3 成分)
9	((ALH(I,J),I=1,NDS),J=1,IGM)	領域内の水素による中性子エネルギー 遷移確率 (J 群から I 群へ)

[注意]

1. IPL: P_1 の次数 (1 または 3。IPL=1 の場合、レコード 7 及び 8 の書込みは行わない。)
2. IH: =1 領域内に水素がない、=2 領域内に水素がある。
3. レコード 5, 6, 7, 8 の内容については Table 8.5 と Table 8.6 を参照。
4. MULTI-KENO-3.0 はレコード 4 及びレコード 9 の内容は読込まず、空読みする。
5. レコード 2 以降は領域の数だけ繰返される。

9 MGCL-B-IV ライブラリーおよび MGCL-J3 ライブラリーに含まれる核種及びその識別子

MGCL-B-IV に含まれる核種及びその識別子を **Table 9.1** から **Table 9.5**に示す。識別子は 8 桁の数字で構成され、先頭の 1 桁目は核データの出典を表す。このライブラリーは主に END F/B-IV から作られているので、ほとんどの核種の先頭番号が 4 である。次の 2 桁は原子量を表す。その次の 3 桁は質量数を表すが、天然の同位体組成を有する元素の場合には '000' として区別している。末尾の 1 桁では安定 (0)、準安定核種 (1) を区別している。

Table 9.1: MGCL-B-IV に内蔵されている核種 -1

		300° K		560° K		900° K		1200° K		2100° K	
核種	識別子	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群
³¹ P	1150310		○								
¹⁷⁴ Hf	2721740		○								
¹⁷⁶ Hf	2721760		○								
¹⁷⁷ Hf	2721770		○								
¹⁷⁸ Hf	2721780		○								
¹⁷⁹ Hf	2721790		○								
¹⁸⁰ Hf	2721800		○								
Zr-nat	4003020	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹ H	4010010	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
² H	4010020	○	○	○				○	○	○	
³ He	4020030	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁴ He	4020040	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁹ Be	4040090	○	○	○				○	○	○	○
¹⁰ B	4050100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹¹ B	4050110	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹² C	4060120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹⁴ N	4070140	○	○	○			○	○	○	○	○
¹⁶ O	4080160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
F-nat	4090000	○	○	○				○	○	○	
²³ Na	4110230	○	○	○	○	○		○	○	○	
Mg-nat	4120000	○	○	○				○	○	○	
²⁷ Al	4130270	○	○	○	○		○	○	○	○	○
Si-nat	4140000	○	○	○				○	○	○	
S-nat	4160000	○	○	○				○	○	○	
Cl-nat	4170000	○	○	○				○	○	○	
K-nat	4190000	○	○	○				○	○	○	

Table 9.2: MGCL-B-IV に内蔵されている核種-2

		300° K		560° K		900° K		1200° K		2100° K	
核種	識別子	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群
Ca-nat	4200000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ti-nat	4220000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cr-nat	4240000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁵ Mn	4250550	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Fe-nat	4260000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁹ Co	4270590	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ni-nat	4280000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cu-nat	4290000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁸⁰ Kr	4360800	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁸⁷ Rb	4370870		○								
⁸⁶ Sr	4380860		○								
⁹⁰ Sr	4380900		○								
⁸⁹ Y	4390890		○								
⁹⁰ Zr	4400900	○	○	○		○		○		○	
Mo-nat	4420000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⁹⁹ Tc	4430990	○		○	○	○	○	○	○	○	○
¹⁰² Ru	4441020	○		○	○	○	○	○	○	○	○
¹⁰³ Rh	4451030	○		○	○	○	○	○	○	○	○
¹⁰⁵ Rh	4451050	○		○	○	○		○		○	
¹⁰⁴ Pd	4461040		○								
¹⁰⁵ Pd	4461050		○								
¹⁰⁶ Pd	4461060		○								
¹⁰⁷ Pd	4461070		○								
¹⁰⁸ Pd	4461080		○								
¹⁰⁷ Ag	4471070	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹⁰⁹ Ag	4471090	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Table 9.3: MGCL-B-IV に内蔵されている核種-3

核種	識別子	300° K		560° K		900° K		1200° K		2100° K	
		26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群
Cd-nat	4480000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹¹³ Cd	4481130	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹¹³ In	4491130	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹¹⁵ In	4491150	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹³⁰ Te	4521300		○								
¹³³ I	4531330	○	○	○		○		○		○	
¹³¹ Xe	4541310	○		○		○	○	○	○	○	○
¹³⁵ Xe	4541350	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
¹³³ Cs	4551330	○	○	○		○	○	○	○	○	○
¹³⁴ Cs	4551340	○		○		○		○		○	
¹³⁸ Ba	4561380		○								
¹³⁹ La	4571390		○								
¹⁴⁴ Ce	4581440	○		○		○		○		○	
¹⁴¹ Pr	4591410		○								
¹⁴³ Nd	4601430	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁴ Nd	4601440	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁵ Nd	4601450	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁶ Nd	4601460	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁷ Pm	4611470	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁸ Pm	4611480	○		○		○		○		○	
^{148m} Pm	4611481	○		○		○	○	○		○	
¹⁴⁹ Pm	4611490	○		○		○		○		○	
¹⁴⁸ Sm	4621480	○	○	○		○		○		○	
¹⁴⁹ Sm	4621490	○		○	○	○	○	○		○	
¹⁵⁰ Sm	4621500	○		○		○	○	○		○	
¹⁵¹ Sm	4621510	○		○	○	○	○	○		○	
¹⁵² Sm	4621520	○		○		○		○		○	

Table 9.4: MGCL-B-IV に内蔵されている核種-4

		300° K		560° K		900° K		1200° K		2100° K	
核種	識別子	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群
¹⁵³ Sm	4621530	○		○		○		○		○	
¹⁵⁹ Eu	4631530	○		○		○		○		○	
¹⁵⁴ Eu	4631540	○		○		○	○	○		○	
¹⁵⁵ Eu	4631550	○		○				○		○	
Gd-nat	4640000	○	○	○		○		○		○	
¹⁵⁵ Gd	4641530	○		○	○	○		○		○	○
¹⁵⁶ Gd	4641560	○		○	○	○		○		○	○
¹⁵⁷ Gd	4641570	○		○	○	○		○		○	○
¹⁵⁸ Gd	4641580	○		○	○	○		○		○	○
¹⁶¹ Dy	4661610	○		○		○		○		○	
¹⁶² Dy	4661620	○		○		○		○		○	
¹⁶³ Dy	4661630	○		○		○		○		○	
¹⁶⁴ Dy	4661640	○		○		○		○		○	
¹⁹⁷ Au	4791970	○		○		○		○		○	
Pb-nat	4820000	○		○		○		○		○	
²³² Th	4802320	○		○	○	○		○		○	
²³³ Pa	4912330	○		○	○	○		○		○	
²³⁴ U	4922340	○		○	○	○		○		○	
²³⁵ U	4922350	○		○	○	○		○		○	
²³⁶ U	4922360	○		○	○	○		○		○	
²³⁸ U	4922380	○		○	○	○		○		○	
²³⁷ Np	4932370	○		○	○	○		○		○	
²³⁸ Pu	4942380	○		○	○	○		○		○	
²³⁹ Pu	4942390	○		○	○	○		○		○	
²⁴⁰ Pu	4942400	○		○	○	○		○		○	

Table 9.5: MGCL-B-IV に内蔵されている核種 -5

核種	識別子	300° K		560° K		900° K		1200° K		2100° K	
		26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群	26 群	137 群
²⁴¹ Pu	4942410	○	○	○	○	○	○	○		○	
²⁴² Pu	4942420	○	○	○	○	○	○	○		○	
²⁴¹ Am	4952410	○	○	○		○	○	○		○	
²⁴³ Am	4952430	○	○	○		○	○	○		○	
²⁴⁴ Cm	4962440	○	○	○	○	○	○	○		○	
FP	9990000	○		○	○	○	○	○		○	

MGCL-J3 に含まれる核種及びその識別子を、Table 9.6 から Table 9.19 に示す。識別子の数字の各桁の意味は MGCL-B-IV のそれと同様で、主な違いは核データの出典を表す先頭の 1 桁目だけである。MGCL-B-IV 及び MGCL-J3 に含まれる核種の識別子は、ほとんどが上述の規則に従って命名されているが、Table 9.20 に示す核種に限り例外的な識別子をもつ。このうち 3010011 及び 3060121 は 137 群 20 ℃ MGCL-J3 にのみ用意されている。

Table 9.6: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-1

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
(H ₂ O)	3010010	○	○	○	○			
(ZrH ₂)	3010011	○						
² H(D ₂ O)	3010020	○	○	○	○			
³ He	3020030	○	○	○	○	○	○	○
⁴ He	3020040	○	○	○	○	○	○	○
⁶ Li	3030060	○	○					
⁷ Li	3030070	○	○					
⁹ Be	3040090	○	○	○	○	○	○	○
¹⁰ B	3050100	○	○	○	○	○	○	○
¹¹ B	3050110	○	○	○	○	○	○	○
¹² C(自由ガス)	3060120	○	○	○	○	○	○	○
¹² C(グラファイト)	3060121	○						
¹⁴ N	3070140	○	○					
¹⁵ N	3070150	○	○					
¹⁶ O	3080160	○	○	○	○	○	○	○
¹⁹ F	3090190	○	○					
²³ Na	3110230	○	○	○	○	○	○	○
Mg	3120000	○	○					
²⁷ Al	3130270	○	○	○	○	○	○	○
Si	3140000	○	○	○	○	○	○	○
²⁸ Si	3140280	○	○					
²⁹ Si	3140290	○	○					
³⁰ Si	3140300	○	○					
³¹ P	3150310	○	○					
S	3160000	○	○					
³² S	3160320	○	○					

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.7: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -2

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
³³ S	3160330	○	○					
³⁴ S	3160340	○	○					
³⁶ S	3160360	○	○					
Cl	4170000*1	○						
K	3190000	○	○					
Ca	3200000	○	○					
Ti	3220000	○	○					
Cr	3240000	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁰ Cr	3240500	○	○					
⁵² Cr	3240520	○	○					
⁵³ Cr	3240530	○	○					
⁵⁴ Cr	3240540	○	○					
⁵⁵ Mn	3250550	○	○	○	○	○	○	○
Fe	3260000	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁴ Fe	3260540	○	○					
⁵⁶ Fe	3260560	○	○					
⁵⁷ Fe	3260570	○	○					
⁵⁸ Fe	3260580	○	○					
⁵⁹ Co	3270590	○	○					
Ni	3280000	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁸ Ni	3280580	○	○					
⁶⁰ Ni	3280600	○	○					
⁶¹ Ni	3280610	○	○					
⁶² Ni	3280620	○	○					
⁶⁴ Ni	3280640	○	○					
Cu	3290000	○	○					
⁸⁰ Kr	3360800	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.8: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -3

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
⁸⁷ Rb	3370870	○						
⁸⁸ Sr	3380880	○						
⁹⁰ Sr	3380900	○						
⁸⁹ Y	3390890	○						
Zr	3400000	○	○	○	○	○	○	○
⁹⁰ Zr	3400900	○						
⁹¹ Zr	3400910	○						
⁹³ Zr	3400930	○						
⁹⁶ Zr	3400960	○						
Nb	3410930	○	○	○	○	○	○	○
Mo	3420000	○	○	○	○	○	○	○
⁹⁵ Mo	3420950	○	○					
⁹⁷ Mo	3420970	○						
⁹⁸ Mo	3420980	○						
¹⁰⁰ Mo	3421000	○						
⁹⁹ Tc	3430990	○	○					
¹⁰⁰ Ru	3441000	○						
¹⁰¹ Ru	3441010	○	○					
¹⁰² Ru	3441020	○	○					
¹⁰⁴ Ru	3441040	○						
¹⁰³ Rh	3451030	○	○					
¹⁰⁵ Rh	3451050	○	○					
¹⁰⁴ Pd	3461040	○						
¹⁰⁵ Pd	3461050	○						
¹⁰⁶ Pd	3461060	○						
¹⁰⁷ Pd	3461070	○						
¹⁰⁸ Pd	3461080	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.9: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -4

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
Ag	3470000	○	○					
¹⁰⁷ Ag	3471070	○						
¹⁰⁹ Ag	3471090	○						
Cd	3480000	○	○					
¹¹³ Cd	3481130	○	○					
¹¹³ In	3491130	○						
¹¹⁵ In	3491150	○						
⁵⁰ Sn	3500000	○	○	○	○	○	○	○
Sb	3510000	○	○					
¹³⁰ Te	3521300	○						
¹³¹ Xe	3541310	○	○					
¹³⁵ Xe	3541350	○	○	○	○	○	○	○
¹³³ Cs	3551330	○	○					
¹³⁴ Cs	3551340	○	○					
¹³⁵ Cs	3551350	○						
¹³⁸ Ba	3561380	○						
¹³⁹ La	3571390	○						
¹⁴⁴ Ce	3581440	○	○					
¹⁴¹ Pr	3591410	○						
¹⁴³ Nd	3601430	○	○					
¹⁴⁴ Nd	3601440	○	○					
¹⁴⁵ Nd	3601450	○	○					
¹⁴⁶ Nd	3601460	○	○					
¹⁴⁸ Nd	3601480	○						
¹⁴⁷ Pm	3611470	○	○					
¹⁴⁸ Pm	3611480	○	○					
^{148m} Pm	3611481	○	○					

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.10: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種-5

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
¹⁴⁹ Pm	3611490	○	○					
¹⁴⁷ Sm	3621470	○	○					
¹⁴⁸ Sm	3621480	○	○					
¹⁴⁹ Sm	3621490	○	○					
¹⁵⁰ Sm	3621500	○	○					
¹⁵¹ Sm	3621510	○	○					
¹⁵² Sm	3621520	○	○					
¹⁵³ Sm	3621530	○	○					
¹⁵³ Eu	3631530	○	○					
¹⁵⁴ Eu	3631540	○	○					
¹⁵⁵ Eu	3631550	○	○					
Gd	4640000*1	○						
¹⁵⁵ Gd	3641550	○	○					
¹⁵⁶ Gd	3641560	○	○					
¹⁵⁷ Gd	3641570	○	○					
¹⁵⁸ Gd	3641580	○	○					
¹⁶⁴ Dy	6661640*2	○						
Hf	3720000	○	○					
¹⁷⁴ Hf	3721740	○						
¹⁷⁶ Hf	3721760	○						
¹⁷⁷ Hf	3721770	○						
¹⁷⁸ Hf	3721780	○						
¹⁷⁹ Hf	3721790	○						
¹⁸⁰ Hf	3721800	○						
W	3740000	○	○	○	○	○	○	○
¹⁹⁷ Au	6791970*2	○						
Pb	3820000	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.11: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -6

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²³⁰ Th	3902300	○	○					
²³² Th	3902320	○	○	○	○	○	○	○
²³¹ Pa	3912310	○	○					
²³³ Pa	3912330	○	○					
²³² U	3922320	○	○					
²³³ U	3922330	○	○					
²³⁴ U	3922340	○	○					
²³⁵ U	3922350	○	○	○	○	○	○	○
²³⁶ U	3922360	○	○					
²³⁷ U	6922370*2	○						
²³⁸ U	3922380	○	○	○	○	○	○	○
²³⁷ Np	3932370	○	○					
²³⁹ Np	3932390	○	○					
²³⁶ Pu	3942360	○	○					
²³⁷ Pu	6942370*2	○						
²³⁸ Pu	3942380	○	○	○	○	○	○	○
²³⁹ Pu	3942390	○	○	○	○	○	○	○
²⁴⁰ Pu	3942400	○	○	○	○	○	○	○
²⁴¹ Pu	3942410	○	○	○	○	○	○	○
²⁴² Pu	3942420	○	○	○	○	○	○	○
²⁴³ Pu	6942430*2	○	○					
²⁴⁴ Pu	6942440*2	○						
²⁴¹ Am	3952410	○	○	○	○	○	○	○
²⁴² Am	3952420	○	○					
^{242m} Am	3952421	○						
²⁴³ Am	3952430	○	○					
²⁴¹ Cm	3962410	○	○					
²⁴² Cm	3962420	○	○					

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.12: 137 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -7

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²⁴³ Cm	3962430	○	○					
²⁴⁴ Cm	3962440	○	○					
²⁴⁵ Cm	3962450	○	○					
²⁴⁶ Cm	3962460	○						
²⁴⁷ Cm	3962470	○						
²⁴⁸ Cm	3962480	○						
²⁴⁹ Cm	3962490	○						
²⁵⁰ Cm	3962500	○						
²⁴⁹ Bk	3972490	○						
²⁵⁰ Bk	3972500	○						
²⁴⁹ Cf	3982490	○						
²⁵⁰ Cf	3982500	○						
²⁵¹ Cf	3982510	○						
²⁵² Cf	3982520	○						
²⁵⁴ Cf	3982540	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.13: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -1

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
$^1\text{H}(\text{H}_2\text{O})$	3010010	○	○	○	○			
$^2\text{H}(\text{D}_2\text{O})$	3010020	○	○	○	○			
^3He	3020030	○	○	○	○	○	○	○
^4He	3020040	○	○	○	○	○	○	○
^6Li	3030060	○	○					
^7Li	3030070	○	○					
^9Be	3040090	○	○	○	○	○	○	○
^{10}B	3050100	○	○	○	○	○	○	○
^{11}B	3050110	○	○	○	○	○	○	○
$^{12}\text{C}(\text{自由ガス})$	3060120	○	○	○	○	○	○	○
^{14}N	3070140	○	○					
^{15}N	3070150	○	○					
^{16}O	3080160	○	○	○	○	○	○	○
^{19}F	3090190	○	○					
^{23}Na	3110230	○	○	○	○	○	○	○
Mg	3120000	○	○					
^{27}Al	3130270	○	○	○	○	○	○	○
Si	3140000	○	○	○	○	○	○	○
^{28}Si	3140280	○	○					
^{29}Si	3140290	○	○					
^{30}Si	3140300	○	○					
^{31}P	3150310	○	○					
S	3160000	○	○					
^{32}S	3160320	○	○					
^{33}S	3160330	○	○					

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.14: 26 群 MCCL-J3 に内蔵されている核種-2

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
³⁴ S	3160340	○	○					
³⁶ S	3160360	○	○					
Cl	4170000 ^{*1}	○						
K	3190000	○	○					
Ca	3200000	○	○					
Ti	3220000	○	○					
Cr	3240000	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁰ Cr	3240500	○	○					
⁵² Cr	3240520	○	○					
⁵³ Cr	3240530	○	○					
⁵⁴ Cr	3240540	○	○					
⁵⁵ Mn	3250550	○	○	○	○	○	○	○
Fe	3260000	○	○	○	○	○	○	○
⁵⁹ Co	3270590	○	○					
Ni	3280000	○	○	○	○	○	○	○
Cu	3290000	○	○					
⁸⁰ Kr	3360800	○						
⁸⁷ Rb	3370870	○						
⁸⁸ Sr	3380880	○						
⁹⁰ Sr	3380900	○						
⁸⁹ Y	3390890	○						
Zr	3400000	○	○	○	○	○	○	○
⁹⁰ Zr	3400900	○						
⁹¹ Zr	3400910	○						
⁹³ Zr	3400930	○						
⁹⁶ Zr	3400960	○						
Nb	3410930	○	○	○	○	○	○	○

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.15: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -3

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
Mo	3420000	○	○	○	○	○	○	○
⁹⁵ Mo	3420950	○	○					
⁹⁷ Mo	3420970	○						
⁹⁸ Mo	3420980	○						
¹⁰⁰ Mo	3421000	○						
⁹⁹ Tc	3430990	○	○		○			
¹⁰⁰ Ru	3441000	○						
¹⁰¹ Ru	3441010	○	○					
¹⁰² Ru	3441020	○	○		○			
¹⁰⁴ Ru	3441040	○						
¹⁰³ Rh	3451030	○	○		○			
¹⁰⁵ Rh	3451050	○	○		○			
¹⁰⁴ Pd	3461040	○						
¹⁰⁵ Pd	3461050	○						
¹⁰⁶ Pd	3461060	○						
¹⁰⁷ Pd	3461070	○						
¹⁰⁸ Pd	3461080	○						
Ag	3470000	○	○					
¹⁰⁷ Ag	3471070	○						
¹⁰⁹ Ag	3471090	○						
Cd	3480000	○	○					
¹¹³ Cd	3481130	○	○		○			
¹¹³ In	3491130	○						
¹¹⁵ In	3491150	○						
Sn	3500000	○	○	○	○	○	○	○
Sb	3510000	○	○					
¹³⁰ Te	3521300	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.16: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -4

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
¹³⁵ I	6531350*2	○			○			
¹³¹ Xe	3541310	○	○		○			
¹³⁵ Xe	3541350	○	○	○	○	○	○	○
¹³³ Cs	3551330	○	○		○			
¹³⁴ Cs	3551340	○	○		○			
¹³⁵ Cs	3551350	○						
¹³⁸ Ba	3561380	○						
¹³⁹ La	3571390	○						
¹⁴⁴ Ce	3581440	○	○		○			
¹⁴¹ Pr	3591410	○						
¹⁴³ Nd	3601430	○	○		○			
¹⁴⁴ Nd	3601440	○	○		○			
¹⁴⁵ Nd	3601450	○	○		○			
¹⁴⁶ Nd	3601460	○	○		○			
¹⁴⁸ Nd	3601480	○						
¹⁴⁷ Pm	3611470	○	○		○			
¹⁴⁸ Pm	3611480	○	○		○			
^{148m} Pm	3611481	○	○		○			
¹⁴⁹ Pm	3611490	○	○		○			
¹⁴⁷ Sm	3621470	○	○					
¹⁴⁸ Sm	3621480	○	○		○			
¹⁴⁹ Sm	3621490	○	○		○			
¹⁵⁰ Sm	3621500	○	○		○			
¹⁵¹ Sm	3621510	○	○		○			
¹⁵² Sm	3621520	○	○		○			
¹⁵³ Sm	3621530	○	○		○			
¹⁵³ Eu	3631530	○	○		○			

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.17: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -5

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
¹⁵⁴ Eu	3631540	○	○		○			
¹⁵⁵ Eu	3631550	○	○		○			
Gd	4640000*1	○						
¹⁵⁶ Gd	3641550	○	○		○			
¹⁵⁶ Gd	3641560	○	○		○			
¹⁵⁷ Gd	3641570	○	○		○			
¹⁵⁸ Gd	3641580	○	○		○			
¹⁶⁴ Dy	6661640*2	○						
Hf	3720000	○	○					
¹⁷⁴ Hf	3721740	○						
¹⁷⁶ Hf	3721760	○						
¹⁷⁷ Hf	3721770	○						
¹⁷⁸ Hf	3721780	○						
¹⁷⁹ Hf	3721790	○						
¹⁸⁰ Hf	3721800	○						
W	3740000	○	○	○	○	○	○	○
¹⁹⁷ Au	6791970*2	○						
Pb	3820000	○						
²³⁰ Th	3902300	○	○		○			
²³² Th	3902320	○	○	○	○	○	○	○
²³¹ Pa	3912310	○	○		○			
²³³ Pa	3912330	○	○		○			
²³² U	3922320	○	○		○			
²³³ U	3922330	○	○		○			
²³⁴ U	3922340	○	○		○			
²³⁵ U	3922350	○	○	○	○	○	○	○
²³⁶ U	3922360	○	○		○			
²³⁷ U	6922370*2	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.18: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -6

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²³⁸ U	3922380	○	○	○	○	○	○	○
²³⁷ Np	3932370	○	○		○			
²³⁸ Np	6932380*2				○			
²³⁹ Np	3932390	○	○		○			
²³⁶ Pu	3942360	○	○		○			
²³⁷ Pu	6942370*2	○			○			
²³⁸ Pu	3942380	○	○	○	○	○	○	○
²³⁹ Pu	3942390	○	○	○	○	○	○	○
²⁴⁰ Pu	3942400	○	○	○	○	○	○	○
²⁴¹ Pu	3942410	○	○	○	○	○	○	○
²⁴² Pu	3942420	○	○	○	○	○	○	○
²⁴³ Pu	6942430*2	○	○		○			
²⁴⁴ Pu	6942440*2	○			○			
²⁴¹ Am	3952410	○	○	○	○	○	○	○
²⁴² Am	3952420	○	○		○			
^{242m} Am	3952421	○	○		○			
²⁴³ Am	3952430	○	○		○			
²⁴¹ Cm	3962410	○	○		○			
²⁴² Cm	3962420	○	○		○			
²⁴³ Cm	3962430	○	○		○			
²⁴⁴ Cm	3962440	○	○		○			
²⁴⁵ Cm	3962450	○	○		○			
²⁴⁶ Cm	3962460	○						
²⁴⁷ Cm	3962470	○						
²⁴⁸ Cm	3962480	○						
²⁴⁹ Cm	3962490	○						
²⁵⁰ Cm	3962500	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.19: 26 群 MGCL-J3 に内蔵されている核種 -7

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²⁴⁹ Bk	3972490	○						
²⁵⁰ Bk	3972500	○						
²⁴⁹ Cf	3982490	○						
²⁵⁰ Cf	3982500	○						
²⁵¹ Cf	3982510	○						
²⁵² Cf	3982520	○						
²⁵⁴ Cf	3982540	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI

Table 9.20: 例外的な ID を持つ同位体

核 種	MGCL-B-IV	MGCL-J3
Zr-nat	4003020	3400000
F-nat	4090000	3090190
ZrH ₂ の H		3010011
グラファイトの C		3060121

10 MGCL-J3.2 ライブラリーに含まれる核種とその識別子

MGCL-J3.2 ライブラリーは、我が国の最新の核データ JENDL-3.2 を主に参照して作成した、多群定数ライブラリーである。現在は、137 群 293K (20 ℃) 及び 26 群 293K、560K、900K の MGCL-J3.2 が作成されている。MAIL3.1 は MGCL-J3.2 ライブラリーを読み込んで、各種断面積セットをつくることも可能である。

137 群 293K 及び 26 群 293K の MGCL-J3.2 ライブラリーに含まれる核種とその識別子の一覧を、Table 10.1から Table 10.13に示す。

Table 10.1: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種-1

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
$^1\text{H}(\text{H}_2\text{O})$	3010010	○						
$^1\text{H}(\text{ZrH}_2)$	3010011*3	○						
$^2\text{H}(\text{D}_2\text{O})$	3010020	○						
^3He	3020030	○						
^4He	3020040	○						
^6Li	3030060	○						
^7Li	3030070	○						
^9Be	3040090*3	○						
^{10}B	3050100*3	○						
^{11}B	3050110*3	○						
$^{12}\text{C}(\text{自由ガス})$	3060120	○						
$^{12}\text{C}(\text{グラファイト})$	3060121*3	○						
^{14}N	3070140	○						
^{15}N	3070150	○						
^{16}O	3080160	○						
^{19}F	3090190	○						
^{23}Na	3110230	○						
Mg	3120000	○						
^{27}Al	3130270	○						
Si	3140000	○						
^{28}Si	3140280*3	○						
^{29}Si	3140290*3	○						
^{30}Si	3140300*3	○						
^{31}P	3150310	○						
S	3160000	○						
^{32}S	3160320*3	○						
^{33}S	3160330*3	○						
^{34}S	3160340*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.2: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -2

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
³⁵ S	3160350*3	○						
Cl	4170000	○						
K	3190000	○						
Ca	3200000	○						
Ti	3220000	○						
Cr	3240000	○						
⁵⁰ Cr	3240500*3	○						
⁵² Cr	3240520*3	○						
⁵³ Cr	3240530*3	○						
⁵⁴ Cr	3240540*3	○						
⁵⁵ Mn	3250550	○						
Fe	3260000	○						
⁵⁴ Fe	3260540*3	○						
⁵⁶ Fe	3260560*3	○						
⁵⁷ Fe	3260570*3	○						
⁵⁸ Fe	3260580*3	○						
⁵⁹ Co	3270590	○						
Ni	3280000	○						
⁵⁸ Ni	3280580*3	○						
⁶⁰ Ni	3280600*3	○						
⁶¹ Ni	3280610*3	○						
⁶² Ni	3280620*3	○						
⁶⁴ Ni	3280640*3	○						
Cu	3290000	○						
⁸⁰ Kr	3360800*3	○						
⁸⁷ Rb	3370870*3	○						
⁸⁸ Sr	3380880*3	○						
⁹⁰ Sr	3380900*3	○						
⁸⁹ Y	3390890*3	○						
Zr	3400000	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.3: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -3

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
⁹⁰ Zr	3400900*3	○						
⁹¹ Zr	3400910*3	○						
⁹³ Zr	3400930*3	○						
⁹⁶ Zr	3400960*3	○						
⁹³ Nb	3410930	○						
Mo	3420000	○						
⁹⁵ Mo	3420950*3	○						
⁹⁷ Mo	3420970*3	○						
⁹⁸ Mo	3420980*3	○						
¹⁰⁰ Mo	3421000*3	○						
⁹⁹ Tc	3430990*3	○						
¹⁰⁰ Ru	3441000*3	○						
¹⁰¹ Ru	3441010*3	○						
¹⁰² Ru	3441020*3	○						
¹⁰⁴ Ru	3441040*3	○						
¹⁰³ Rh	3451030*3	○						
¹⁰⁵ Rh	3451050*3	○						
¹⁰⁴ Pd	3461040*3	○						
¹⁰⁵ Pd	3461050*3	○						
¹⁰⁶ Pd	3461060*3	○						
¹⁰⁷ Pd	3461070*3	○						
¹⁰⁸ Pd	3461080*3	○						
Ag	3470000	○						
¹⁰⁷ Ag	3471070	○						
¹⁰⁹ Ag	3471090	○						
Cd	3480000	○						
¹¹³ Cd	3481130	○						
¹¹³ In	3491130*3	○						
¹¹⁵ In	3491150	○						
Sn	3500000*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.4: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -4

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
Sb	3510000	○						
¹³⁰ Te	3521300*3	○						
¹³¹ Xe	3541310*3	○						
¹³⁵ Xe	3541350*3	○						
¹³³ Cs	3551330*3	○						
¹³⁴ Cs	3551340*3	○						
¹³⁵ Cs	3551350*3	○						
¹³⁸ Ba	3561380*3	○						
¹³⁹ La	3571390*3	○						
¹⁴⁴ Ce	3581440*3	○						
¹⁴¹ Pr	3591410*3	○						
¹⁴³ Nd	3601430*3	○						
¹⁴⁴ Nd	3601440*3	○						
¹⁴⁵ Nd	3601450*3	○						
¹⁴⁶ Nd	3601460*3	○						
¹⁴⁸ Nd	3601480*3	○						
¹⁴⁷ Pm	3611470*3	○						
¹⁴⁸ Pm	3611480*3	○						
^{148m} Pm	3611481*3	○						
¹⁴⁹ Pm	3611490*3	○						
¹⁴⁷ Sm	3621470*3	○						
¹⁴⁸ Sm	3621480*3	○						
¹⁴⁹ Sm	3621490*3	○						
¹⁵⁰ Sm	3621500*3	○						
¹⁵¹ Sm	3621510*3	○						
¹⁵² Sm	3621520*3	○						
¹⁵³ Sm	3621530*3	○						
¹⁵³ Eu	3631530*3	○						
¹⁵⁴ Eu	3631540*3	○						
¹⁵⁵ Eu	3631550*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.5: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -5

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
Gd	4640000* ¹	○						
¹⁵⁵ Gd	3641550* ³	○						
¹⁵⁶ Gd	3641560* ³	○						
¹⁵⁷ Gd	3641570* ³	○						
¹⁵⁸ Gd	3641580* ³	○						
¹⁶⁴ Dy	6661640* ²	○						
Hf	3720000	○						
¹⁷⁴ Hf	3721740	○						
¹⁷⁶ Hf	3721760	○						
¹⁷⁷ Hf	3721770	○						
¹⁷⁸ Hf	3721780	○						
¹⁷⁹ Hf	3721790	○						
¹⁸⁰ Hf	3721800	○						
W	3740000	○						
¹⁹⁷ Au	6791970* ²	○						
Pb	3820000	○						
²³⁰ Th	3902300* ³	○						
²³² Th	3902320	○						
²³¹ Pa	3912310* ³	○						
²³³ Pa	3912330* ³	○						
²³² U	3922320	○						
²³³ U	3922330	○						
²³³ U	6922330* ²	○						
²³⁴ U	3922340	○						
²³⁵ U	3922350	○						
²³⁶ U	3922360	○						
²³⁷ U	6922370	○						
²³⁸ U	3922380	○						
²³⁷ Np	3932370	○						
²³⁹ Np	3932390* ³	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.6: 137 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -6

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²³⁶ Pu	3942360*3	○						
²³⁷ Pu	6942370*2	○						
²³⁸ Pu	3942380*3	○						
²³⁹ Pu	3942390	○						
²⁴⁰ Pu	3942400	○						
²⁴¹ Pu	3942410	○						
²⁴² Pu	3942420*3	○						
²⁴³ Pu	6942430*2	○						
²⁴⁴ Pu	6942440*2	○						
²⁴¹ Am	3952410*3	○						
²⁴² Am	3952420*3	○						
^{242m} Am	3952421*3	○						
²⁴³ Am	3952430*3	○						
²⁴¹ Cm	3962410*3	○						
²⁴² Cm	3962420*3	○						
²⁴³ Cm	3962430*3	○						
²⁴⁴ Cm	3962440*3	○						
²⁴⁵ Cm	3962450	○						
²⁴⁶ Cm	3962460*3	○						
²⁴⁷ Cm	3962470*3	○						
²⁴⁸ Cm	3962480*3	○						
²⁴⁹ Cm	3962490	○						
²⁵⁰ Cm	3962500*3	○						
²⁴⁹ Bk	3972490*3	○						
²⁵⁰ Bk	3972500*3	○						
²⁴⁹ Cf	3982490*3	○						
²⁵⁰ Cf	3982500*3	○						
²⁵¹ Cf	3982510*3	○						
²⁵² Cf	3982520*3	○						
²⁵⁴ Cf	3982540*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.7: 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種-1

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
$^1\text{H}(\text{H}_2\text{O})$	3010010	○		○	○	○		
$^1\text{H}(\text{ZrH}_2)$	3010011* ³	○						
$^2\text{H}(\text{D}_2\text{O})$	3010020	○						
^3He	3020030	○		○	○	○		
^4He	3020040	○		○	○	○		
^6Li	3030060	○						
^7Li	3030070	○						
^9Be	3040090* ³	○		○	○	○		
^{10}B	3050100* ³	○		○	○	○		
^{11}B	3050110* ³	○		○	○	○		
$^{12}\text{C}(\text{自由ガス})$	3060120	○		○	○	○		
$^{12}\text{C}(\text{グラファイト})$	3060121* ³	○						
^{14}N	3070140	○						
^{15}N	3070150	○						
^{16}O	3080160	○		○	○	○		
^{19}F	3090190	○						
^{23}Na	3110230	○		○	○	○		
Mg	3120000	○						
^{27}Al	3130270	○		○	○	○		
Si	3140000	○		○	○	○		
^{28}Si	3140280* ³	○						
^{29}Si	3140290* ³	○						
^{30}Si	3140300* ³	○						
^{31}P	3150310	○						
S	3160000	○						
^{32}S	3160320* ³	○						
^{33}S	3160330* ³	○						
^{34}S	3160340* ³	○						
^{35}S	3160350* ³	○						
Cl	4170000	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.8: 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -2

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
K	3190000	○						
Ca	3200000	○						
Ti	3220000	○						
Cr	3240000	○		○	○	○		
⁵⁰ Cr	3240500* ³	○						
⁵² Cr	3240520* ³	○						
⁵³ Cr	3240530* ³	○						
⁵⁴ Cr	3240540* ³	○						
⁵⁵ Mn	3250550	○		○	○	○		
Fe	3260000	○		○	○	○		
⁵⁴ Fe	3260540* ³	○						
⁵⁶ Fe	3260560* ³	○						
⁵⁷ Fe	3260570* ³	○						
⁵⁸ Fe	3260580* ³	○						
⁵⁹ Co	3270590	○						
Ni	3280000	○		○	○	○		
⁵⁸ Ni	3280580* ³	○						
⁶⁰ Ni	3280600* ³	○						
⁶¹ Ni	3280610* ³	○						
⁶² Ni	3280620* ³	○						
⁶⁴ Ni	3280640* ³	○						
Cu	3290000	○						
⁸⁰ Kr	3360800* ³	○						
⁸⁷ Rb	3370870* ³	○						
⁸⁸ Sr	3380880* ³	○						
⁹⁰ Sr	3380900* ³	○						
⁸⁹ Y	3390890* ³	○						
Zr	3400000	○		○	○	○		
⁹⁰ Zr	3400900* ³	○						
⁹¹ Zr	3400910* ³	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.9: 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -3

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
⁹³ Zr	3400930* ³	○						
⁹⁶ Zr	3400960* ³	○						
⁹³ Nb	3410930	○		○	○	○		
Mo	3420000	○		○	○	○		
⁹⁵ Mo	3420950* ³	○						
⁹⁷ Mo	3420970* ³	○						
⁹⁸ Mo	3420980* ³	○						
¹⁰⁰ Mo	3421000* ³	○						
⁹⁹ Tc	3430990* ³	○		○	○	○		
¹⁰⁰ Ru	3441000* ³	○						
¹⁰¹ Ru	3441010* ³	○						
¹⁰² Ru	3441020* ³	○		○	○	○		
¹⁰⁴ Ru	3441040* ³	○						
¹⁰³ Rh	3451030* ³	○		○	○	○		
¹⁰⁵ Rh	3451050* ³	○		○	○	○		
¹⁰⁴ Pd	3461040* ³	○						
¹⁰⁵ Pd	3461050* ³	○						
¹⁰⁶ Pd	3461060* ³	○						
¹⁰⁷ Pd	3461070* ³	○						
¹⁰⁸ Pd	3461080* ³	○						
Ag	3470000	○						
¹⁰⁷ Ag	3471070	○						
¹⁰⁹ Ag	3471090	○						
Cd	3480000	○						
¹¹³ Cd	3481130	○		○	○	○		
¹¹³ In	3491130* ³	○						
¹¹⁵ In	3491150	○						
Sn	3500000* ³	○		○	○	○		
Sb	3510000	○						
¹³⁰ Te	3521300* ³	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.10: 26 群 MCCL-J3.2 に内蔵されている核種-4

	核種識別子	温度 [K]					
		293	373	560	900	1200	2400 4800
^{135}I	6531350*2			○	○	○	
^{131}Xe	3541310*3	○		○	○	○	
^{135}Xe	3541350*3	○		○	○	○	
^{133}Cs	3551330*3	○		○	○	○	
^{134}Cs	3551340*3	○		○	○	○	
^{135}Cs	3551350*3	○					
^{138}Ba	3561380*3	○					
^{139}La	3571390*3	○					
^{144}Ce	3581440*3	○		○	○	○	
^{141}Pr	3591410*3	○					
^{143}Nd	3601430*3	○		○	○	○	
^{144}Nd	3601440*3	○		○	○	○	
^{145}Nd	3601450*3	○		○	○	○	
^{146}Nd	3601460*3	○		○		○	
^{148}Nd	3601480*3	○					
^{147}Pm	3611470*3	○		○	○	○	
^{148}Pm	3611480*3	○		○	○	○	
$^{148\text{m}}\text{Pm}$	3611481*3	○		○	○	○	
^{149}Pm	3611490*3	○		○	○	○	
^{147}Sm	3621470*3	○					
^{148}Sm	3621480*3	○		○	○	○	
^{149}Sm	3621490*3	○		○	○	○	
^{150}Sm	3621500*3	○		○	○	○	
^{151}Sm	3621510*3	○		○	○	○	
^{152}Sm	3621520*3	○		○	○	○	
^{153}Sm	3621530*3	○		○	○	○	
^{153}Eu	3631530*3	○		○	○	○	
^{154}Eu	3631540*3	○		○	○	○	
^{155}Eu	3631550*3	○		○	○	○	
Gd	4640000*1	○					

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.11: 26 群 MCCLJ3.2 に内蔵されている核種-5

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
¹⁵⁵ Gd	3641550*3	○		○	○	○		
¹⁵⁶ Gd	3641560*3	○		○	○	○		
¹⁵⁷ Gd	3641570*3	○		○	○	○		
¹⁵⁸ Gd	3641580*3	○		○	○	○		
¹⁶⁴ Dy	6661640*2	○						
Hf	3720000	○						
¹⁷⁴ Hf	3721740	○						
¹⁷⁶ Hf	3721760	○						
¹⁷⁷ Hf	3721770	○						
¹⁷⁸ Hf	3721780	○						
¹⁷⁹ Hf	3721790	○						
¹⁸⁰ Hf	3721800	○						
W	3740000	○		○	○	○		
¹⁹⁷ Au	6791970*2	○						
Pb	3820000	○						
²³⁰ Th	3902300*3	○		○	○	○		
²³² Th	3902320	○		○	○	○		
²³³ Th	3902330			○	○	○		
²³⁴ Th	3902340			○	○	○		
²³¹ Pa	3912310*3	○		○	○	○		
²³² Pa	3912320*3			○	○	○		
²³³ Pa	3912330*3	○		○	○	○		
²³² U	3922320	○		○	○	○		
²³³ U	3922330	○		○	○	○		
²³³ U	6922330*2	○						
²³⁴ U	3922340	○		○	○	○		
²³⁵ U	3922350	○		○	○	○		
²³⁶ U	3922360	○		○	○	○		
²³⁷ U	6922370	○		○	○	○		

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.12: 26 群 MCGL-J3.2 に内蔵されている核種-6

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²³⁸ U	3922380	○		○	○	○		
²³⁶ Np	3932360			○	○	○		
²³⁷ Np	3932370	○		○	○	○		
²³⁸ Np	3932380			○	○	○		
²³⁹ Np	3932390*3	○		○	○	○		
²³⁶ Pu	3942360*3	○		○	○	○		
²³⁷ Pu	6942370*2	○		○	○	○		
²³⁸ Pu	3942380*3	○		○	○	○		
²³⁹ Pu	3942390	○		○	○	○		
²⁴⁰ Pu	3942400	○		○	○	○		
²⁴¹ Pu	3942410	○		○	○	○		
²⁴² Pu	3942420*3	○		○	○	○		
²⁴³ Pu	6942430*2	○		○	○	○		
²⁴⁴ Pu	6942440*2	○		○	○	○		
²⁴¹ Am	3952410*3	○		○	○	○		
²⁴² Am	3952420*3	○		○	○	○		
^{242m} Am	3952421*3	○		○	○	○		
²⁴³ Am	3952430*3	○		○	○	○		
²⁴⁴ Am	3952440			○	○	○		
^{244m} Am	3952441			○	○	○		
²⁴¹ Cm	3962410*3	○		○	○	○		
²⁴² Cm	3962420*3	○		○	○	○		
²⁴³ Cm	3962430*3	○		○	○	○		
²⁴⁴ Cm	3962440*3	○		○	○	○		
²⁴⁵ Cm	3962450	○		○	○	○		
²⁴⁶ Cm	3962460*3	○						
²⁴⁷ Cm	3962470*3	○						
²⁴⁸ Cm	3962480*3	○						
²⁴⁹ Cm	3962490	○						
²⁵⁰ Cm	3962500*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

Table 10.13: 26 群 MGCL-J3.2 に内蔵されている核種 -7

	核種識別子	温度 [K]						
		293	373	560	900	1200	2400	4800
²⁴⁹ Bk	3972490*3	○						
²⁵⁰ Bk	3972500*3	○						
²⁴⁹ Cf	3982490*3	○						
²⁵⁰ Cf	3982500*3	○						
²⁵¹ Cf	3982510*3	○						
²⁵² Cf	3982520*3	○						
²⁵⁴ Cf	3982540*3	○						

*1 ENDF/B-IV *2 ENDF/B-VI *3 JENDL-3 その他は JENDL-3.2

11 Hansen-Roach 断面積セットの核種識別子の選択方法

Hansen-Roach 断面積セットに収納されている核種のうち ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu 及び ^{240}Pu については、ポテンシャル散乱断面積 (σ_p) を変数としてそれぞれ複数の核種識別子が用意されている。臨界計算をしようとする体系にこれら共鳴核種が存在する場合には、その体系に最適な核種識別子を、 σ_p を目安に選択する。 σ_p は、共鳴自己遮蔽の効果 (高エネルギー側の強大な共鳴のために生じる中性子エネルギースペクトルの「くぼみ」によって、低エネルギー側の共鳴吸収が弱められてしまう現象) を考慮して識別子を選択するための指標である。 σ_p の計算方法はいくつか提唱されているが、どの方法を使ってもほとんど同じ臨界計算結果が得られることが報告されているが [22]、MAIL3.1 には次に示す Hansen-Mclaughlin の式 [22] を採用した。

$$\sigma_{p,x} = \frac{1}{N_x} \cdot \sum_{i=1}^M (W_i \cdot N_i \cdot \sigma_{s,i}) \quad (11.1)$$

但し、

$$W_i = 1.0 (A_i \leq 15)$$

$$W_i = 0.5 (A_i = 16)$$

$$W_i = 0.0 (A_i > 16)$$

ここで、

N: 原子個数密度

M: 領域内の核種数

σ_s : 共鳴エネルギー領域の平均散乱断面積

W: 重率

A: 原子量

x_i : 核種を表す添字

このようにして核種 X のポテンシャル散乱断面積 $\sigma_{p,x}$ が得られたら、続いて、その値に等しい σ_p を持つ核種識別子をその一覧表から選ぶ。しかし、計算で求めた $\sigma_{p,x}$ と同じ値を持つ核種識別子などありえない。そこで、核種 X の巨視的ポテンシャル散乱断面積と原子個数密度 N_x を保存しつつ、 σ_p の異なる 2 つの核種識別子 (核種名は同じ、 σ_p の値だけが異なる) に分割することがよく行われる。すなわち、

$$\sigma_{p1} \cdot N_1 + \sigma_{p2} \cdot N_2 = \sigma_{p,x} \cdot N_x \quad (11.2)$$

$$N_1 + N_2 = N_x \quad (11.3)$$

ここで、

σ_{p1}, σ_{p2} $\sigma_{p,x}$ を含む 2 つの核種識別子 X_1, X_2 の σ_p
 N_1, N_2 : X_1, X_2 の原子個数密度

MAIL3.1 では初めに X_1 及び X_2 を選択し、続いて連立一次方程式を解いて N_1 及び N_2 を求め、その結果を印字する。

非均質燃料の場合は、式 (7.11) に示した考え方を式 (11.1) に導入して σ_p を計算する。すなわち、非均質燃料のポテンシャル散乱断面積 $\sigma'_{p,x}$ は次の方法 [23] で求める。

$$\sigma'_{p,x} = \sigma_{p,x} + \frac{\Sigma_e^*}{N_x} \quad (11.4)$$

ここで、 $\sigma_{p,x}$ は式 (11.1) から得られる均質燃料のポテンシャル散乱断面積である。
 式 (11.4) の Σ_e^* は、以下の式に従って計算する。

$$\Sigma_e^* = \Sigma_e \cdot \frac{a \cdot (1 - C)}{1 + (a - 1) \cdot C} \quad (11.5)$$

$$\Sigma_e = \frac{S_0}{4V_0} \quad (11.6)$$

S_0 : 燃料の表面積

V_0 : 燃料の体積

また、

$$C = (1 - \beta_B) \cdot (1 - \beta_B^4)$$

$$\beta_B = \frac{\Sigma_1}{\Sigma_1 + \Sigma_{e1}} \quad (11.7)$$

Σ_1 : 燃料の全断面積

そして、

$$\Sigma_{el} = \frac{S_0}{4V_1}$$

V_1 : 減速材の体積 (11.8)

a : 係数($\simeq 1.35$)

非均質燃料のポテンシャル散乱断面積 $\sigma'_{p,x}$ が得られた後の手続きは、均質燃料の場合と同じである。

11.1 Hansen-Roach 16 群断面積セットに含まれる核種とその識別子

Hansen-Roach 16 群断面積セットに含まれる核種とその識別子 (ID) の一覧を Table 11.1 から Table 11.5 に示す。すでに述べたように、MAIL3.1 は入力データのオプションにより、Hansen-Roach 16 群ライブラリーの識別子を決められたルールに従って選択するとともに、印字する機能を備えている。

Table 11.1: Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子-1

Element Title	Source	ID
HYDROGEN X(E)	Hansen Roach	1101
HYDROGEN DE/E	Hansen Roach	1102
DEUTERIUM I(E)	Hansen Roach	1201
LITHIUM-6	Hansen Roach	3100
LITHIUM-7	Hansen Roach	3200
BERYLLIUM	Hansen Roach	4100
BORON	Hansen Roach	5100
CARBON	Hansen Roach	6100
NITROGEN	Hansen Roach	7100
OXYGEN	Hansen Roach	8100
FLUORINE	Hansen Roach	9100
SODIUM	Hansen Roach	11100
MAGNESIUM	XSDRN	12100
ALUMINUM	Hansen Roach	13100
SILICON	XSDRN	14100
SULFUR	XSDRN	16100
CHLORINE	Hansen Roach	17100
POTASSIUM	Hansen Roach	19100
CALCIUM	GAM-2	20100
TITANIUM	GAM-2	22100
VANADIUM	GAM-2	23100
CHROMIUM	AEROJET	24100
MANGANESE	XSDRN	25100
IRON	Hansen Roach	26100
COBALT	Hansen Roach	27100
NICKEL	Hansen Roach	28100
COPPER	XSDRN	29100
ZINC	GAM-2	30100
ZIRCONIUM	Hansen Roach	40100
NIOBIUM	Hansen Roach	41100
MOLYBDENUM	Hansen Roach	42100
CADMIUM	GAM-2	48100
INDIUM	GAM-2	49100

Table 11.2: Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子-2

Element Title	Source	ID
CERIUM	Hansen Roach	58100
SAMARIUM	GAM-2	62100
EUROPIUM	GAM-2	63100
GADOLINIUM	GAM-2	64100
TANTALUM	Hansen Roach	73100
TUNGSTEN	GAM-2	74100
LEAD	XSDRN	82100
TH-232 SIG P = 50	Hansen Roach	90104
TH-232 SIG P = 1000	Hansen Roach	90108
TH-232 SIG P = 1250	Hansen Roach	90109
TH-232 SIG P = 1500	Hansen Roach	90110
TH-232 SIG P = 1750	Hansen Roach	90111
TH-232 SIG P = 2000	Hansen Roach	90112
TH-232 SIG P = 2500	Hansen Roach	90113
TH-232 SIG P = 3000	Hansen Roach	90114
TH-232 SIG P = 3500	Hansen Roach	90115
TH-232 INFINITE DILUTION	Hansen Roach	90200
TH-232 SIG P = 20	Hansen Roach	90202
TH-232 SIG P = 40	Hansen Roach	90204
TH-232 SIG P = 60	Hansen Roach	90206
TH-232 SIG P = 80	Hansen Roach	90208
TH-232 SIG P = 100	Hansen Roach	90210
TH-232 SIG P = 150	Hansen Roach	90212
TH-232 SIG P = 200	Hansen Roach	90214
TH-232 SIG P = 300	Hansen Roach	90216
TH-232 SIG P = 400	Hansen Roach	90218
TH-232 SIG P = 600	Hansen Roach	90220
TH-232 SIG P = 800	Hansen Roach	90222
TH-232 SIG P = 1000	Hansen Roach	90224
TH-232 SIG P = 1500	Hansen Roach	90226
TH-232 SIG P = 2000	Hansen Roach	90228
TH-232 SIG P = 3000	Hansen Roach	90230
TH-232 SIG P = 4000	Hansen Roach	90232
TH-232 SIG P = 6000	Hansen Roach	90234
TH-232 SIG P = 10K	Hansen Roach	90236
TH-232 SIG P = 20K	Hansen Roach	90238
U-233	Hansen Roach	92300
U-233-1 SIG P = 20	Hansen Roach	92301
U-233-2 SIG P = 40	Hansen Roach	92302
U-233-3 SIG P = 60	Hansen Roach	92303
U-233-4 SIG P = 100	Hansen Roach	92304
U-233-5 SIG P = 200	Hansen Roach	92305
U-233-6 SIG P = 400	Hansen Roach	92306
U-233-7 SIG P = 600	Hansen Roach	92307
U-233-8 SIG P = 1000	Hansen Roach	92308
U-233-9 SIG P = 2000	Hansen Roach	92309
U-233-10 SIG P = 4000	Hansen Roach	92310
U-233-11 SIG P = 6000	Hansen Roach	92311
U-233-12 SIG P = 10000	Hansen Roach	92312

Table 11.3: Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子-3

Element Title	Source	ID
U-234	Mihalczo Mod of H-R U-238	92400
U-235 YR	Hansen Roach	92500
U-235-1R SIG P = 20	Hansen Roach	92501
U-235-2R SIG P = 40	Hansen Roach	92502
U-235-3R SIG P = 60	Hansen Roach	92503
U-235-4R SIG P = 100	Hansen Roach	92504
U-235-5R SIG P = 200	Hansen Roach	92505
U-235-6R SIG P = 400	Hansen Roach	92506
U-235-7R SIG P = 600	Hansen Roach	92507
U-235-8R SIG P = 1000	Hansen Roach	92508
U-235-9R SIG P = 2000	Hansen Roach	92509
U-235-10R SIG P = 4000	Hansen Roach	92510
U-235-11R SIG P = 6000	Hansen Roach	92511
U-235-12R SIG P = 10000	Hansen Roach	92512
U-236	Mihalczo Mod of H-R U-238	92600
U-238 Y	Hansen Roach	92800
U-238 SIG P = 12	Hansen Roach JRE Mod	92801
U-238 SIG P = 15	Hansen Roach JRE Mod	92802
U-238 SIG P = 20	Hansen Roach JRE Mod	92803
U-238 SIG P = 25	Hansen Roach JRE Mod	92804
U-238 SIG P = 30	Hansen Roach JRE Mod	92805
U-238 SIG P = 35	Hansen Roach JRE Mod	92806
U-238 SIG P = 40	Hansen Roach JRE Mod	92807
U-238 SIG P = 45	Hansen Roach JRE Mod	92808
U-238 SIG P = 50	Hansen Roach JRE Mod	92809
U-238 SIG P = 55	Hansen Roach JRE Mod	92810
U-238 SIG P = 60	Hansen Roach JRE Mod	92811
U-238 SIG P = 65	Hansen Roach JRE Mod	92812
U-238 SIG P = 70	Hansen Roach JRE Mod	92813
U-238 SIG P = 75	Hansen Roach JRE Mod	92814
U-238 SIG P = 80	Hansen Roach JRE Mod	92815
U-238 SIG P = 85	Hansen Roach JRE Mod	92816
U-238 SIG P = 90	Hansen Roach JRE Mod	92817
U-238 SIG P = 95	Hansen Roach JRE Mod	92818
U-238 SIG P = 100	Hansen Roach JRE Mod	92819
U-238 SIG P = 110	Hansen Roach JRE Mod	92820
U-238 SIG P = 120	Hansen Roach JRE Mod	92821
U-238 SIG P = 130	Hansen Roach JRE Mod	92822
U-238 SIG P = 140	Hansen Roach JRE Mod	92823
U-238 SIG P = 160	Hansen Roach JRE Mod	92824
U-238 SIG P = 180	Hansen Roach JRE Mod	92825
U-238 SIG P = 200	Hansen Roach JRE Mod	92826
U-238 SIG P = 220	Hansen Roach JRE Mod	92827
U-238 SIG P = 240	Hansen Roach JRE Mod	92828
U-238 SIG P = 260	Hansen Roach JRE Mod	92829
U-238 SIG P = 280	Hansen Roach JRE Mod	92830
U-238 SIG P = 300	Hansen Roach JRE Mod	92831
U-238 SIG P = 330	Hansen Roach JRE Mod	92832
U-238 SIG P = 360	Hansen Roach JRE Mod	92833

Table 11.4: Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子-4

Element Title	Source	ID
U-238 SIG P = 400	Hansen Roach	92834
U-238 SIG P = 450	Hansen Roach	92835
U-238 SIG P = 500	Hansen Roach	92836
U-238 SIG P = 550	Hansen Roach	92837
U-238 SIG P = 600	Hansen Roach	92838
U-238 SIG P = 650	Hansen Roach	92839
U-238 SIG P = 700	Hansen Roach	92840
U-238 SIG P = 800	Hansen Roach	92841
U-238 SIG P = 900	Hansen Roach	92842
U-238 SIG P = 1000	Hansen Roach	92843
U-238 SIG P = 1500	Hansen Roach	92844
U-238 SIG P = 2000	Hansen Roach	92845
U-238 SIG P = 3000	Hansen Roach	92846
U-238 SIG P = 4000	Hansen Roach	92847
U-238 SIG P = 5000	Hansen Roach	92848
U-238 SIG P = 6000	Hansen Roach	92849
U-238 SIG P = 8000	Hansen Roach	92850
U-238 SIG P = 10000	Hansen Roach	92851
U-238 SIG P = 20000	Hansen Roach	92852
U-238 SIG P = 40000	Hansen Roach	92853
U-238 SIG P = 60000	Hansen Roach	92854
U-238 SIG P = 100000	Hansen Roach	92855
U-238-1R SIG P = 20	Hansen Roach	92856
U-238-2R SIG P = 40	Hansen Roach	92857
U-238-3R SIG P = 60	Hansen Roach	92858
U-238-4R SIG P = 100	Hansen Roach	92859
U-238-5R SIG P = 200	Hansen Roach	92860
U-238-6R SIG P = 400	Hansen Roach	92861
U-238-7R SIG P = 600	Hansen Roach	92862
PU-240	Hansen Roach	94000
PU-240-1 SIG P = 50	Hansen Roach	94001
PU-240-2 SIG P = 100	Hansen Roach	94002
PU-240-3 SIG P = 200	Hansen Roach	94003
PU-240-4 SIG P = 400	Hansen Roach	94004
PU-240-5 SIG P = 600	Hansen Roach	94005
PU-240-6 SIG P = 1000	Hansen Roach	94006
PU-240-7 SIG P = 2000	Hansen Roach	94007
PU-240-8 SIG P = 4000	Hansen Roach	94008
PU-240-9 SIG P = 6000	Hansen Roach	94009
PU-240-10 SIG P = 10000	Hansen Roach	94010
PU-240-11 SIG P = 20000	Hansen Roach	94011
PU-240-12 SIG P = 40000	Hansen Roach	94012
PU-240-13 SIG P = 60000	Hansen Roach	94013
PU-240-14 SIG P = 100000	Hansen Roach	94014
PU-240-15 SIG P = 200000	Hansen Roach	94015
PU-240-16 SIG P = 400000	Hansen Roach	94016
PU-240-17 SIG P = 600000	Hansen Roach	94017
PU-240-18 SIG P = 1000000	Hansen Roach	94018

Table 11.5: Hansen-Roach 16 群断面積ライブラリの核種識別子-5

Element Title	Source	ID
PU-241	GAM-2	94100
PU-242	GAM-2	94200
PU-238	Hansen Roach	94800
PU-238-1 SIG P = 100	Persimmon	94801
PU-238-2 SIG P = 1000	Persimmon	94802
PU-238-3 SIG P = 10000	Persimmon	94803
PU-238 Y	Persimmon	94804
PU-239	Hansen Roach	94900
PU-239-1 SIG P = 20	Hansen Roach	94901
PU-239-2 SIG P = 40	Hansen Roach	94902
PU-239-3 SIG P = 60	Hansen Roach	94903
PU-239-4 SIG P = 100	Hansen Roach	94904
PU-239-5 SIG P = 200	Hansen Roach	94905
PU-239-6 SIG P = 400	Hansen Roach	94906
PU-239-7 SIG P = 600	Hansen Roach	94907
PU-239-8 SIG P = 1000	Hansen Roach	94908
PU-239-9 SIG P = 2000	Hansen Roach	94909
PU-239-10 SIG P = 4000	Hansen Roach	94910
PU-239-11 SIG P = 6000	Hansen Roach	94911
PU-239-12 SIG P = 10000	Hansen Roach	94912
PU-239-13 SIG P = 20000	Hansen Roach	94913
PU-239-14 SIG P = 40000	Hansen Roach	94914
PU-239-15 SIG P = 60000	Hansen Roach	94915
PU-239-16 SIG P = 100000	Hansen Roach	94916

12 MULTI-KENO, MULTI-KENO-2, MULTI-KENO-3.0の違いについて

MULTI-KENO は モンテカルロ臨界計算プログラム KENO IV をベースに作成したプログラムである。スーパーボックスと称する考えを導入して、KENO IV では難しかった不規則配列を容易に定義できる。ジオメトリカードの交差も一部許される。固定中性子源問題を解くこともできる。MULTI-KENO 用の断面積セットの記録形式は KENO IV と同一であるので、MAIL3.1 で MULTI-KENO 用の断面積セットを作成する場合には、**カード 1** の IOPT の値を 2 とする。

MULTI-KENO を利用を通して、いくつかのバグが見つかった。ジオメトリカードの枚数に制限があったり、セルバウンダリカードで囲んだ領域を燃料と定義するとエラーが発生した。これらのバグを削除した MULTI-KENO を MULTI-KENO-2 と名前付けして、バグを含んでいた MULTI-KENO と区別している。MULTI-KENO-2 用の断面積セットを作成する場合にも、**カード 1** の IOPT の値を 2 とする。

MULTI-KENO-3.0 は MULTI-KENO-2 をベースに作成したプログラムである。燃料棒の六角格子配列を表現できる、 P_3 散乱マトリクスに基づいて中性子の散乱方向を決定する等の特徴を有する。MULTI-KENO-3.0 用の断面積セットを作成する場合には、**カード 1** の IOPT の値を 4 とする。**カード 1** の IPL の値は 1 ないし 3 のどちらかを選ぶ。MULTI-KENO-3.0 は MAIL3.1 でつくられた断面積セットを読み込み、巨視的散乱データが P_1 成分まで用意されているのか、 P_3 成分まで用意されているのかを自ら判断する。このため MULTI-KENO-3.0 の入力データで P_L の次数を指定する必要はない。MULTI-KENO-3.0 を P_1 近似あるいは P_3 近似のどちらで実行するかは、読み込む断面積セットで決る。

謝 辞

MAIL3.1 を実行して得られた AMPX 作業ライブラリー形式の断面積セットの内容を検証するために、MAIL3.1 と KENO V.a の組合せによる臨界計算を実施した。KENO V.a の入力データの提供と計算の実行を担当していただいた日本原子力研究所大洗研究所の白石忠男氏に深く感謝します。

参考文献

- [1] Y. Komuro, H. Okuno, Y. Naito, T. Sakai, M. Shiota, and Y. Okuda. "MAIL3.0:A Computer Program Calculating Cross Section Sets for SIMCRI, ANISN, KENO-IV, MULTI-KENO and MULTI-KENO-II". *JAERI-M 90-126*, 1990. (in Japanese).
- [2] S. Nakamaru, N. Sugawara, Y. Naito, J. Katakura, and H. Okuno. "SIMCRI:A Simple Computer Code for Calculating Nuclear Criticality Parameters". *JAERI-M 86-027*, 1986.
- [3] Kinji Koyama, Yukichi Taji, Kazuyoshi Minami, Tameo Tsutsui, Takashi Ideta, and Shunichi Miyasaka. "ANISN-JR, A One Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-Ray Transport Calculations". *JAERI-M 6954*, February 1977.
- [4] L. M. Petrie and Cross N. F. "KENO-IV An Improved Monte Carlo Criticality Program". *ORNL-4938*, 1975.
- [5] Y. Naito, et al. "MULTI-KENO : A Monte Carlo Code for Criticality Safety Analysis". *JAERI-M 83-049*, 1983.
- [6] L. M. Petrie and N. F. Landers. "KENO V.a: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping". *CCC-545*, Vol. 2, , 1995. Section F11.
- [7] N. M. Greene, et al. "A Modular Code System for Generating Coupled Neutron-Gamma Libraries from ENDF/B". *ORNL-TM-3706*.
- [8] G.E. Hansen and W.H. Roach. "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies". *LAMS-2543*, 1960.
- [9] Yoshitaka Naito, et al. "MGCL-PROCESSOR:A Computer Code System for Processing Multi- group Constants Library MGCL". *JAERI-M 9396*, 1981.
- [10] Jun-ichi Katakura, Yoshitaka Naito, and Yuichi Komuro. "...". *Trans. Am. Nucl. Soc.*, Vol. 41, p. 329, 1982.

- [11] " ENDF/B Summary Documentation". *BNL-NCS-17541 2nd ed.*, 1975.
- [12] K. Shibata, T. Nakagawa, T. Asami, T. Fukahori, T. Narita, S. Chiba, M. Mizumoto, A. Hasegawa, Y. Kikuchi, Y. Nakajima, and S. Igarasi. "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version-3". *JAERI-1319*, 1990.
- [13] Y. Gur and S. Yiftah. "Practical Formulas for Nuclear Data Representation in Evaluated Nuclear Data Files in the Unresolved Resonance Energy Region". *Nucl. Sci. Eng.*, Vol. 65, pp. 468-476, 1978.
- [14] J. P. McNeere, T. J. Trapp, and J. K. Thompson. "MCDAN A Monte Carlo Computer Code for Calculating the Dancoff Correction Factor for Spheres and Rods". *PNL-3086*, 1979.
- [15] H. Okuno and Y. Komuro. "DANKE: A Monte Carlo Computer Program for Calculating the Dancoff Correction Factor for Spheres, Rods and Slabs". *JAERI-M 94-049*, 1994. (in Japanese).
- [16] Y. Fukai. "New Analytical Formula for Dancoff Correction for Cylindrical Fuel Lattices". *Nucl. Sci. Eng.*, Vol. 9, pp. 370-376, 1961.
- [17] Hiroshi Okuno, Yasuhisa Okuda, and Yoshitaka Naito. " Multigroup Cross Sections of Resonant Nuclei Considering Moderator Mass Differences". *JAERI-M-90-199*, November 1990. (in Japanese).
- [18] Yuichi Kumuro, Tomohiro Sakai, and Shou-ichi Nakamura. " Calculation Methods of Atomic Number Density for Various Nuclear Materials ". *JAERI-M 87-037*, March 1987. (in Japanese).
- [19] P.H. Kier and A.A. Robba. "RABBLE, A Program for Computation of Resonance Absorption in Multi region Reactor Cells". *ANL-7326*, 1967.
- [20] R.Q. Wright, N.M. Greene, J.L. Lucius, and C.W. Craven Jr. " SUPERTOG : A Program to Generate Fine Group Constants and Pn Scattering Matrices from ENDF/B ". *ORNL-TM-2679*, 1969.

- [21] J.D. Macdonald. "PIXSE". *AEW-M-318*, 1963.
- [22] R.D. Busch and R.D. O'Dell. "Validity of Hansen-Roach Cross Sections in Low-Enriched Uranium Systems ". In *Proceedings of the ICNC'91 - International Conference on Nuclear Criticality Safety*, Vol. I, pp. IV-45, Oxford,UK, September 1991.
- [23] H. Henryson II, B.J. Toppel, and C.G. Stenberg. "MC2-2 : A Code to Calculate Fast Neutron Spectra and Multigroup Cross Sections". *ANL-8144*, 1976.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光強度	カンテラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	シーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光度	カンデラ	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, l
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリル	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm} = 10^{-17} \text{ m}$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

指数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1 eVおよび1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海軍、ノット、アール、ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは固体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC関係理事会指令ではbar、barnおよび「直位の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
1	1	0.101972	0.224809
9.80665	1	1	2.20462
4.44822	0.453592	1	1

$$\text{粘 度 } 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P (ポアズ)} (\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ St (ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
1	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ²	145.038
0.0980665	1	1	0.967841	735.559	14.2233
0.101325	1.03323	1	1	760	14.6959
1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻²	1	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻³
6.89476 × 10 ⁻²	7.03070 × 10 ⁻²	1	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
1	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁴	0.238849	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J (熱化学)
9.80665	1	1	2.72407 × 10 ⁻⁴	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁶	= 4.1855 J (15 °C)
3.6 × 10 ⁵	3.67098 × 10 ³	1	1	8.59999 × 10 ³	3.41213	2.65522 × 10 ⁴	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J (国際蒸気表)
4.18605	0.426958	1.16279 × 10 ³	1	1	3.96759 × 10 ³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力)
1055.06	107.506	2.93072 × 10 ³	1	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ³	1	0.323890	1.28506 × 10 ³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻¹⁰	3.82743 × 10 ⁻¹⁰	1.51857 × 10 ⁻¹⁰	1.18171 × 10 ⁻¹¹	1	1	

放射線	Bq	Ci
1	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
3.7 × 10 ¹⁰	1	1

吸収線量	Gy	rad
1	1	100
0.01	1	1

照射線量	C/kg	R
1	1	3876
2.58 × 10 ⁻⁴	1	1

線量当量	Sv	rem
1	1	100
0.01	1	1

